PHILIPS



CURSUS BEDRIJFSELEKTRONICA

Analoge schakelingen

Leerlingboek CS 2

Philips Nederland B.V. - Afd. Onderwijsactiviteiten

Derde, herziene druk 1978

Vierde druk 1979

Vijfde druk 1981

PHILIPS



CURSUS BEDRIJFSELEKTRONICA

Analoge schakelingen

Leerlingboek CS 2

Philips Nederland B.V. - Afd. Onderwijsactiviteiten

Derde, herziene druk 1978

Vierde druk 1979

Vijfde druk 1981

INHOUDSOPGAVE



b

C 15

OSCILLATORSCHAKELINGEN 1

LC - OSCILLATORS

KORTE TERUGBLIK

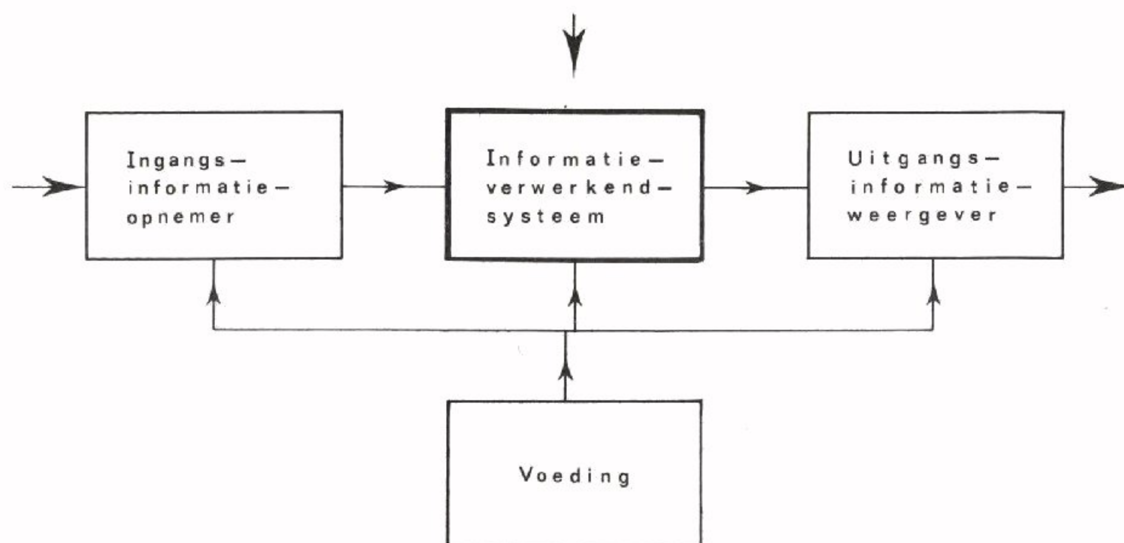
- In C3 hebben we de analoge schakelingen verdeeld in 10 groepen. Een groep bestaat uit schakelingen die eenzelfde functie verrichten.

- De 10 groepen van schakelingen zijn:
  1. Versterkerschakelingen met de functie versterken.
  2. Verzwakkerschakelingen met de functie verzwakken.
  3. Oscillatorschakelingen met de functie oscilleren (opwekken).
  4. Voedingsschakelingen met de functie voeden.
  5. Omvormschakelingen met de functie omvormen.
  6. Geheugenschakelingen met de functie bewaren (opslaan).
  7. Mengschakelingen met de functie mengen.
  8. Transportschakelingen met de functie transporteren.
  9. Opneemschakelingen met de functie opnemen.
  10. Weergeefschakelingen met de functie weergeven.

- In C4 t/m C13 zijn de functies versterken en verzwakken aan de orde geweest. In de volgende stel lessen worden de functies *oscilleren, voeden* en *omvormen* behandeld.

OSCILLEREN IS EEN ONDERDEEL VAN INFORMATIEVERWERKING

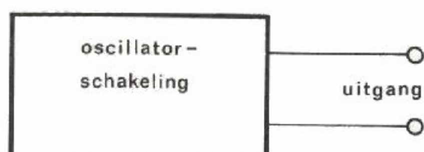
In een analoog systeem zijn vaak hulpsignalen nodig om de gewenste informatie-verwerkingen te kunnen uitvoeren. Een voorbeeld hiervan vindt men in een omroepzender. In een zendersysteem wordt de ingangsinformatie (het LF-geluidssignaal) op een HF-signaal gemoduleerd omdat het praktisch onmogelijk is LF-informatie draadloos over grote afstanden te transporteren. Het HF-signaal wordt in het zendersysteem zelf opgewekt. Dit gebeurt met zogenaamde generators of oscillators. Dit zijn dus schakelingen die als functie hebben: ***het opwekken van elektronische signalen.***



WAT IS OSCILLEREN?

Oscilleren is het opwekken van een elektrisch signaal (oscilleren betekent letterlijk: trillen, schommelen, heen-en-weer gaan).

Een oscillatorschakeling stellen we voor door een blok zonder ingang (er wordt geen ingangsinformatie toegevoerd) maar wel met een uitgang. Aan de uitgang komt het opgewekte signaal beschikbaar.





Het uitgangssignaal van de in de praktijk toegepaste oscillators is in de meeste gevallen sinusvormig (fig. a), zaagtandvormig (fig. b), kanteelvormig (fig. c) of impulsvormig (fig. d).

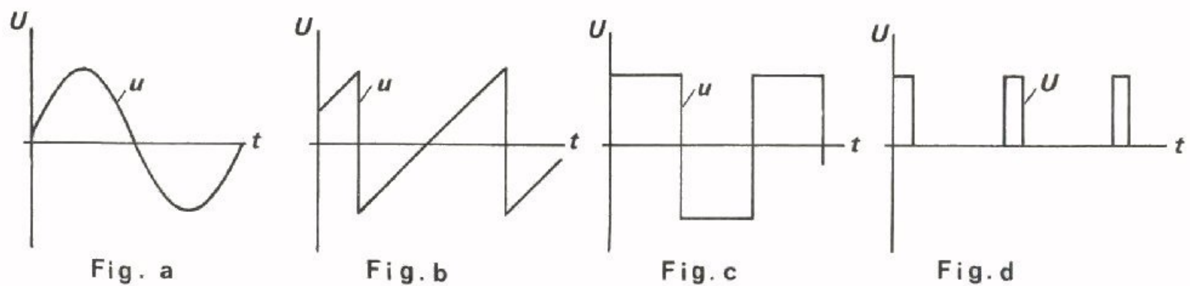
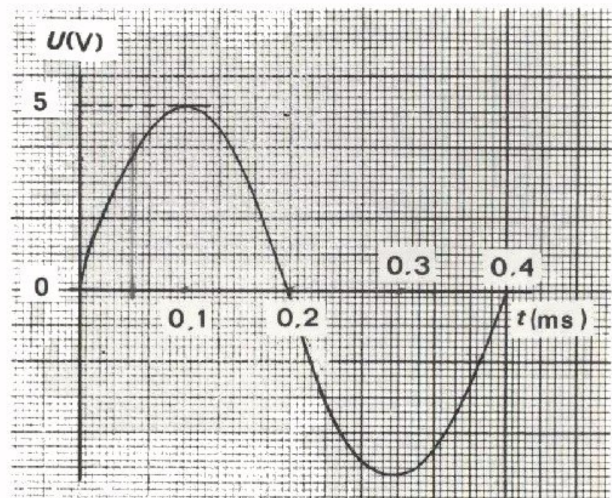


Fig. a Fig. b Fig. c Fig. d

In het vervolg van deze les en in de volgende les C16 worden uitsluitend sinusspannings-oscillators behandeld. In C17 komen zaagtandspannings-oscillators aan de orde. Kanteel- en impulsvormige spanningen worden in de analoge technieken bijna niet gebruikt.

OEFENING



Hiernaast is een sinusvormige spanning afgebeeld.

Hoe groot is:

De topwaarde (amplitude) U_t = [V]

De gemiddelde waarde. U_{gem} = [V]

De effectieve waarde U_{eff} = [V]

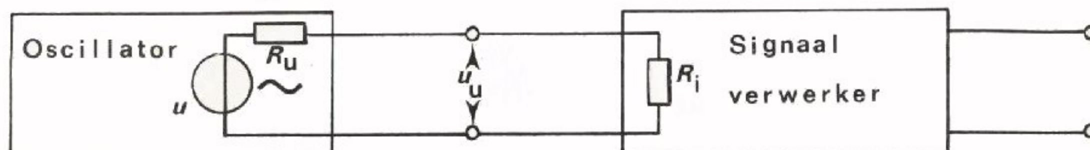
De momentele waarde bij t = 50 µs u = [V]

De periodetijd T = [ms]

De frequentie f = [kHz]

DE BELANGRIJKSTE EIGENSCHAPPEN VAN EEN OSCILLATORSCHAKELING

Een oscillator bevindt zich meestal aan het *begin* van een **informatiever**werkend systeem. De uitgang van een oscillatorschakeling is in bijna alle gevallen verbonden met de ingang van een andere informatie-verwerkende schakeling; bijv. met de ingang van een versterker of van een verzwakker. In onderstaand blokschema is deze situatie geschetst.



Voor een goede samenwerking tussen sinusoscillator en signaalverwerker zijn van de oscillator de volgende eigenschappen van belang.

- De amplitude en de frequentie van de uitgangsspanning.
- De afwijking t.o.v. de sinusvorm, de zogenaamde *vervorming*, van de uitgangsspanning.
- De uitgangsweerstand R_u.
- De maximale belastbaarheid van de uitgang. Dit is de laagste weerstand waarmee de oscillator mag worden belast.

OEFENING

De oscillator in bovenstaand blokschema levert in onbelaste toestand een spanning $U_{u(eff)}$ = 4 V. Verder is van deze oscillator gegeven dat R_u is 500 Ω en de belastbaarheid 1,5 kΩ.
Van de signaalverwerker is bekend dat de ingangsweerstand 2 kΩ is. De maximale toelaatbare ingangsspanning $U_{i(eff)}$ = 3,5 V.

- Hoe groot is de uitgangsspanning van de oscillator nadat de signaalverwerker is aangesloten?

$U_{u(eff)}$ = [V]

- De signaalverwerker wordt **wel/niet** overstuurd.

- Hoe groot is de maximale stroom die de oscillator kan leveren?

$I_{u(eff)}$ = [mA]

- Hoe groot is het maximale vermogen dat van de oscillator kan worden afgenomen?

$P_{u(max)}$ = [mW]

(Bij de laatste twee vragen blijven de eigenschappen van genoemde signaalverwerker buiten beschouwing.

WAAR WORDEN SINUSOSCILLATORS GEBRUIKT?

In de elektronica heeft men voor allerlei doeleinden sinusvormige wisselspanningen nodig met frequenties van minder dan 1 Hz tot vele honderden MHz.

Sinusvormige spanningen met frequenties lager dan 1 Hz worden o.a. gebruikt voor het afregelen en controleren van regelapparatuur. Dit moet bij zeer lage frequenties gebeuren, omdat regelapparatuur in de bedrijfssituatie zeer langzaam verlopende stromen en spanningen verwerkt. Deze apparatuur wordt nl. gebruikt voor het automatisch regelen van industriële processen; dit gaat over het algemeen zeer langzaam.
Een voorbeeld hiervan is: het binnen bepaalde grenzen constant houden van de temperatuur van een oven.

Sinusvormige spanningen met frequenties vanaf 20 Hz tot 20 kHz gebruikt men voor het afregelen en controleren van acoustische onderdelen en schakelingen. Bijv. het controleren van luidsprekers of het afregelen van geluidsversterkers.

Sinusvormige spanningen in de buurt van 100 kHz worden voor ultra-sonore toepassingen gebruikt. Bijvoorbeeld de afstandsbediening van TV-toestellen werkt op deze frequenties. In het bedieningskastje wordt een sinusvormige spanning opgewekt, die vervolgens wordt omgezet in een ultra-sonor signaal. Dit wordt naar het TV-toestel gestraald. Hierin wordt het ultra-sonore signaal weer omgezet in een elektrische spanning waarmee de gewenste knoppen en schakelaars worden bediend.

Sinusvormige signalen tussen 100 kHz en 100 MHz worden gebruikt als draaggolf voor radio-, telefonie- en telegrafie-informatie. Aan de zendzijde wordt een HF-sinusvormige spanning opgewekt. Dit signaal dient als draaggolf voor de informatie die over grote afstanden moet worden getransporteerd. Aan de ontvangzijde wordt de gewenste informatie weer gescheiden van de draaggolf.

In het frequentie-gebied tussen 100 kHz en 100 MHz werken ook de inductieve en capacitieve verhittingsapparaten. Hierin worden sinusvormige stromen en spanningen opgewekt, die periodiek veranderende magnetische- resp. elektrische velden veroorzaken. Deze velden worden voor verhittingsdoeleinden gebruikt.

Sinusvormige signalen tussen 100 MHz en 1000 MHz doen o.a. dienst als draaggolf voor televisie-informatie. Ook hier wordt aan de zendzijde een HF-sinusvormig signaal opgewekt. Op deze draaggolf worden de beeldsignalen gemoduleerd. Aan de ontvangzijde worden de beeldsignalen weer gescheiden van de draaggolf.

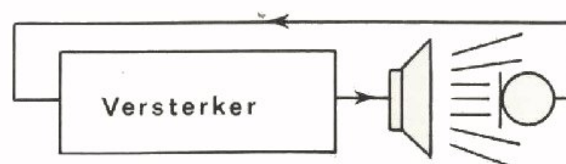
Sinusvormige signalen met frequenties hoger dan 1000 MHz worden o.a. bij radar toegepast. In een radarzender worden HF-signalen opgewekt die via een antenne in de ruimte worden gestraald. Een deel van deze signalen worden door voorwerpen in de ruimte gereflecteerd, en daarna door een ontvanger opgevangen. Met behulp van dit signaal kan men de afstand en de richting van de voorwerpen bepalen.

WAAROP BERUST HET VERSCHIJNSEL "OSCILLEREN"?

Om een idee te krijgen van de werking van een oscillator bekijken we eerst een verschijnsel dat er veel op lijkt.



Een microfoon is aangesloten op de ingang van een geluidsversterker.
De uitgang van de versterker is verbonden met een luidspreker.
Spreken we in de microfoon dan wordt onze stem een aantal malen sterker door de luidspreker weergegeven.



Brengen we de microfoon in de buurt van de luidspreker, dan kan er geluid afkomstig van de luidspreker terecht komen op de microfoon, die het weer als een ingangssignaal aan de versterker toevoert. Het geluid komt weer een aantal malen sterker uit de luidspreker en dus ook op de microfoon. Het geluid wordt steeds sterker. Zelfs als we *niet* meer spreken blijft de luidspreker een sterk geluid produceren, meestal met één bepaalde frequentie. U hebt dit verschijnsel allemaal wel eens meegemaakt. Men noemt het "rondzingen" of oscilleren.

Wat gebeurt er in feite?
Een *deel* van het uitgangsgeluid wordt steeds teruggevoerd naar de ingang van de versterker.
We hebben dan de situatie verkregen dat de luidspreker een sterk *uitgangs*geluid afgeeft, *zonder* dat er van buitenaf nog een *ingangs*geluid wordt toegevoerd.
De combinatie van microfoon, versterker en luidspreker blijkt in staat te zijn zélf een geluidssignaal op te wekken met een bepaalde frequentie.
Wij kunnen zo'n combinatie een "*geluids-oscillator*" noemen.

Wat zijn de oscillervoorwaarden?

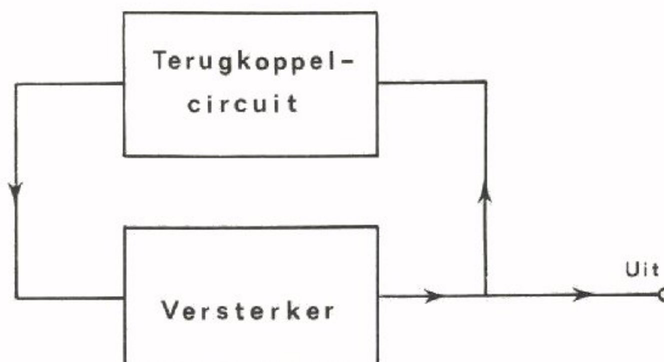
- Er moet een *beginsignaal* zijn om de zaak op gang te brengen.

- Er moet voor één bepaalde *voorkeurfrequentie* voldoende *rondgaande versterking* zijn. Als we nl. de microfoon verwijderen van de luidspreker zal op een gegeven moment het oscilleren ophouden.

- Er moet in het oscillatorcircuit een *begrenzing* zijn. Het opgewekte signaal, dat aanvankelijk steeds sterker wordt, moet op een gegeven moment automatisch worden begrensd; anders gaat er iets kapot (bijv. de luidspreker). In bovenstaande geluids-oscillator loopt het signaal automatisch vast, doordat de gebruikte transistors of elektronenbuizen niet verder kunnen worden uitgestuurd.

DE WERKING VAN EEN "SPANNINGS"-OSCILLATOR

Een oscillator die wisselspanning opwekt bestaat uit een versterker waarvan een gedeelte van de uitgangsspanning wordt teruggekoppeld naar de ingang.



De werking is als volgt:
We nemen aan dat er een *beginsignaal* aanwezig is (hoe dit signaal er komt, krijgen we op pag. 13). Dit signaal wordt versterkt. Er ontstaat een uitgangsspanning waarvan een deel wordt teruggevoerd naar de ingang. Als het teruggevoerde signaal *groter* is dan het aanvankelijke beginsignaal en bovendien dezelfde *fase* heeft, wordt het uitgangssignaal alsmaar groter. Op een gegeven moment kan de spanning niet meer groter worden doordat de actieve componenten in de versterker niet verder kunnen worden uitgestuurd. Er treedt een automatische *begrenzing* op, waardoor de amplitude van de opgewekte spanning constant blijft. In deze toestand is het teruggevoerde signaal precies gelijk aan het voorafgaande ingangssignaal. Men zegt dan: de *rondgaande versterking* is één.
De frequentie waarin de schakeling oscilleert hangt af van de eigenschappen van de versterker en/of van het terugkoppelcircuit. De schakeling oscilleert in die *voorkeurfrequentie* waarbij de fase van het teruggevoerde signaal overeenkomt met dat van het voorgaande ingangssignaal en bovendien de versterking voldoende groot is.

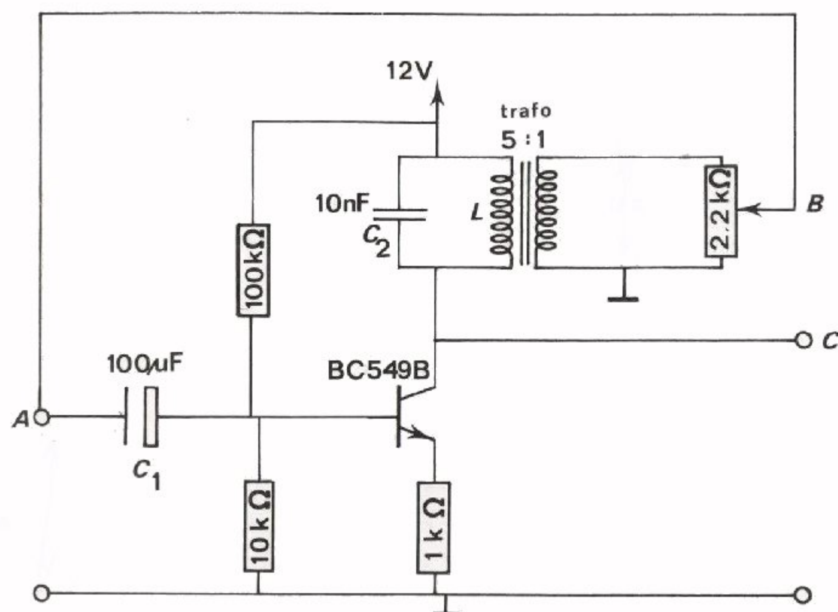
Bij de volgende meetopdrachten zullen we hiervan het een en ander ervaren.

WAT ZIJN DUS DE OSCILLEERVOORWAARDEN?
(Vergelijk deze met die van pag. 7).

1. Er moet een *beginsignaal* zijn.
2. Het teruggevoerde signaal moet in *fase* zijn met het ingangssignaal.
3. Direct na het inschakelen van de oscillator moet de rondgaande versterking *groter* zijn dan één.
4. Er moet in het oscillatorcircuit een *begrenzing* zijn die de rondgaande versterking tijdens het oscilleren terugbrengt tot één.

OPDRACHT: HET METEN AAN EEN OSCILLATOR

- Bouw onderstaande schakeling op uw paneel.



- Plaats de loper van de potentiometer tegen "aarde".
- Verbind punt B (uitgang) met punt A (ingang).
- Sluit een oscilloscoop aan op uitgang C.
- Schakel de voedingsspanning in.
- Regel de potentiometer langzaam op tot er een stabiele wisselspanning op het scherm van de oscilloscoop verschijnt.
- Meet de frequentie van u_c. f_1 = [Hz]
- Meet de amplitude van u_c. U_{c1t} = [V]
- Schakel parallel aan C_2 een condensator van 33 nF.
- Meet opnieuw de frequentie en amplitude van u_{C2}.

f_2 = [Hz] U_{c2t} = [V]

- Verwijder de condensator van 33 nF.

OPMERKING

We hebben hier dus te doen met een schakeling die een *uitgangs*-wisselspanning afgeeft *zonder* dat er een uitwendig *ingangs*-signaal wordt toegevoerd. De schakeling blijkt zélf een wisselspanning op te wekken. De schakeling is een *oscillator*.

VERVOLG OPDRACHT

- Verwijder de verbinding tussen de punten A en B.
  U hebt nu een schakeling verkregen die we in deze cursus al eens eerder zijn tegengekomen.
  De schakeling is een:
  - Brede-band versterker, O
  - Selectieve versterker, O
  - Gelijkspannings-versterker. O
- Leg een sinusvormige spanning van 50 mV (topwaarde) aan de ingang van de versterker (punt A). Regel de frequentie van de ingangsspanning tot de amplitude van de uitgangsspanning maximaal is.

Bij C_2 = 10 nF	f_1 =	Hz
Bij C_2 = 10 nF + 33 nF	f_2 =	Hz

- Bepaal de frequentie van de ingangsspanning waarbij u_a in *fase* is met u_b.

Bij C_2 = 10 nF	f_1 =	Hz
Bij C_2 = 10 nF + 33 nF	f_2 =	Hz

CONCLUSIES UIT DE METINGEN

- De oscillator van blad 7 is een *selectieve versterker* waarvan de *uitgang* verbonden is met de *ingang*.
  De trafo 5 : 1 en de potentiometer zorgen ervoor dat een *deel* van de totale uitgangsspanning u_c wordt teruggevoerd naar de ingang.
  De potentiometer is zo ingesteld dat de oscillator kan starten. Bij de start moet het teruggevoerde signaal groter zijn dan het ingangssignaal van de versterker.

- De schakeling oscileert bij een frequentie die overeenkomt met de resonantie-frequentie van de *LC*-kring. Bij die frequentie is de versterking *maximaal* en is bovendien u_a in *fase* met u_b. De juiste fase tussen u_a en u_b ontstaat doordat de transistor het signaal 180^0 draait en de transformator nogmaals 180^0 fasedraaiing geeft.

- De oscilleerfrequentie kan men veranderen door C_2 en/of L een andere waarde te geven. De amplitude van de uitgangsspanning blijft daarbij nagenoeg constant.

- Een oscillator zoals op blad 10, bestaande uit een selectieve versterker met een *LC*-kring, noemt men een *LC*-oscillator. Deze les handelt uitsluitend over dit soort oscillatoren.
  In de volgende les komen *RC*-oscillatoren aan de orde.

OPDRACHT: DE WERKING VAN DE BEGRENZING

- Breng de schakeling van blad 10 weer in oscillerende toestand.
  - De punten A en B doorverbinden.
  - De loper van de potentiometer tegen aarde leggen en vervolgens opdraaien tot de schakeling oscilleert.
- Meet de gelijkspanningsinstelling U_{BE} m.b.v. een universeelmeter.

U_{BE} = [V]

- Regel de potentiometer, vanaf de stand waarbij de schakeling juist oscilleert, langzaam op zodat het teruggevoerde signaal alsmaar groter wordt. Hou hierbij de *amplitude* van de uitgangsspanning én de U_{BE} van de transistor in de gaten.

U_{ct}	**wordt groter/kleiner/blijft nagenoeg constant**
U_{BE}	**wordt groter/kleiner/blijft nagenoeg constant**

CONCLUSIE

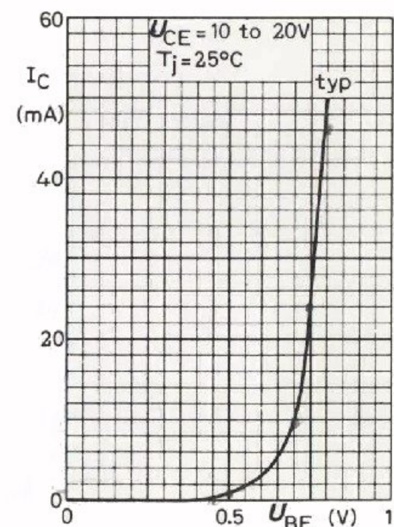
Als we meer spanning terugvoeren dan strikt nodig is om het oscilleren in stand te houden, blijkt het opgewekte signaal *niet* noemenswaardig groter te worden. Kennelijk bevindt zich in de schakeling een automatische begrenzing.

HOE WERKT DE BEGRENZING?

We zouden verwachten dat bij toenemende ingangsspanning van de versterker, óók de uitgangsspanning zou toenemen. Dit blijkt niet het geval te zijn. Hoe komt dat dan?

Uit de meetresultaten blijkt dat bij *toenemende* ingangsspanning (u_i) de U_{BE} *afneemt*. Uit nevenstaande grafiek blijkt dat bij afnemende U_{BE} de steilheid (S) van de transistor *kleiner* wordt. De uitgangsspanning ($S.u_i$) blijft hierdoor nagenoeg constant.

De *begrenzing* van deze oscillator komt dus tot stand, doordat de S van de transistor verandert als de opgewekte spanning toe- of afneemt.



OEFENING

Bepaal uit deze grafiek de steilheid van de transistor:

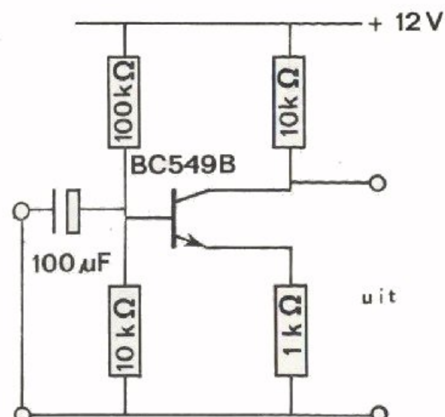
Bij U_{BE} = 0,75 V, S = [mA/V]

Bij U_{BE} = 0,5 V, S = [mA/V]

OPDRACHT: HET BEGINSIGNAAL VOOR EEN OSCILLATOR

- Wijzig de schakeling van blad 10 als volgt:
  - Vervang C_2, de transformator en de potentiometer door een weerstand van 10 kΩ.
  - Verwijder de terugkoppeling.
  - Sluit de ingang kort.

  U hebt nu de schakeling verkregen zoals hiernaast is afgebeeld.



- Verbind de uitgang van de schakeling met een oscilloscoop. Zet deze in de gevoeligste stand.
- Schakel de voedingsspanning in.
- Zonder dat er aan de ingang een wisselspanning wordt toegevoerd verschijnt er aan de uitgang van de versterker een "grillige" wisselspanning. Deze spanning noemt met "*ruis*".

Wat is, en waardoor ontstaat ruis?

Stroomvoerende koolweerstanden, transistors en buizen veroorzaken altijd ruis. Ruis bevat wisselspanning met alle mogelijke frequenties.
Het ruisverschijnsel doet zich in principe in elke elektronische schakeling voor en is meestal ongewenst.
Bij oscillators komt de ruis echter goed van pas.

Hoe kan deze ruis de oscillator op gang brengen?

Omdat het ruissignaal alle frequenties bevat is óók de frequentie aanwezig waarbij de oscillator aan de voorwaarden van oscilleren kan voldoen. Om nu juist die éne frequentie uit de ruis te halen waarop de oscillator moet oscilleren hebben we een selectief netwerk in de collectorleiding opgenomen, namelijk de parallelkring bestaande uit C_2 en de primaire wikkeling van de transformator.
Deze afgestemde kring zorgde ervoor dat slechts voor één frequentie de juiste voorwaarden voor oscilleren aanwezig waren.

Het *beginsignaal* voor een oscillator wordt dus gevormd door "ruis" die bij iedere versterker aanwezig is.

Omdat ruissignalen uiterst klein zijn en een groot oscillatorsignaal gewenst is, moet bij de start van de oscillator de versterking groter zijn dan 1. Tijdens het groter worden van het signaal wordt de versterking automatisch begrensd tot $A_u = 1$. We hebben gezien dat dit gebeurt doordat de instelling van de transistor zich wijzigt.

VOORLOPIGE SAMENVATTING

- Wat is oscilleren?
  In de elektronica verstaat men onder oscilleren, het opwekken van elektrische signalen.

- Voorwaarden waaraan een oscillatorschakeling moet voldoen om te kunnen oscilleren.

  1. *Er moet een beginsignaal zijn.*
     Hiervoor zorgt de altijd aanwezige ruis,die alle mogelijke frequenties bevat.

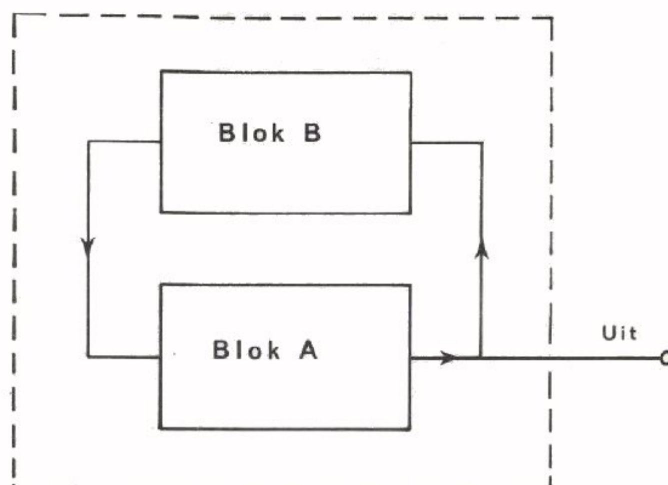
  2. *Bij één frequentie moet de fasehoek tussen het teruggevoerde signaal en het ingangssignaal 0° zijn.*

  3. *Bij die frequentie moet de rondgaande versterking groter zijn dan 1.*
     Dit is nodig om het uiterst kleine ruissignaal met de gewenste frequentie te versterken tot een voldoende grote uitgangsspanning.

  4. *Er moet in het oscillatorcircuit een begrenzing zijn.*

     Als de gewenste uitgangsspanning is bereikt, moet de rondgaande versterking automatisch op één worden gehouden.

● De opbouw van een praktische oscillator.



Blok A is het versterker-gedeelte.

Blok B bevat het selectieve netwerk en kan tevens zorgen voor een extra fasedraaiing.

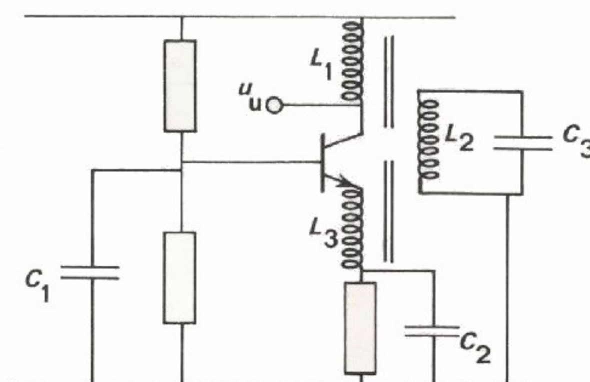
Bestaat blok A uit één trap versterking dan ondervindt het ingangssignaal 180^0 fasedraaiing.

Dit betekent dat blok B niet alleen selektief moet zijn, maar bovendien moet zorgen voor een extra fasedraaiing van 180^0.

Is blok A opgebouwd uit twee trappen versterking dan kan de fasedraaiing 0^0 zijn, in welk geval blok B alleen maar selectief behoeft te zijn.

ENKELE PRAKTISCHE *LC*-OSCILLATORS

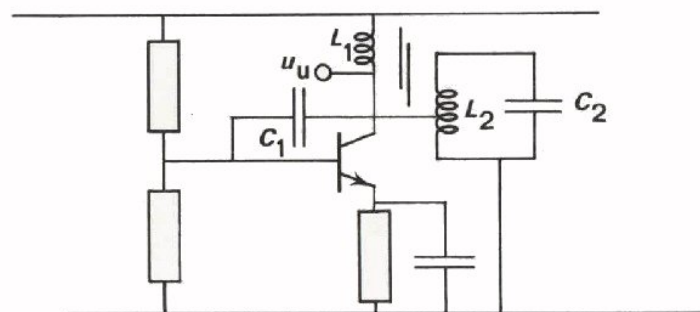
Hieronder is het schema van een transistor-oscillator getekend.



De uitgangsspanning u_u wordt inductief via L_2 en L_3 teruggevoerd naar de ingang van de transistor. De koppelfactor en wikkelverhoudingen tussen L_1, L_2 en L_3 bepalen hoe groot het teruggevoerde deel van de collectorspanning is. De spanning over L_3 staat direct tussen de basis en de emitter van de transistor, omdat C_1 en C_2 bij de oscilleerfrequentie een kortsluiting zijn.

De spoel L_2 en de condensator C_3 vormen een selectief netwerk. Bij de resonantiefrequentie ontstaat een maximale stroom door L_2. Deze stroom veroorzaakt in L_3 een maximale spanning. Dus alleen spanningen met een frequentie gelijk aan de f_o van L_2 - C_3 worden maximaal teruggevoerd.
Bij deze frequentie veroorzaakt de transistor een fasedraaiing van 180^0; de transformator, gevormd door L_1, L_2 en L_3, zorgt ervoor dat het teruggevoerde signaal in fase komt met het ingangssignaal.

Een ander voorbeeld van een praktische oscillator is hieronder afgebeeld.



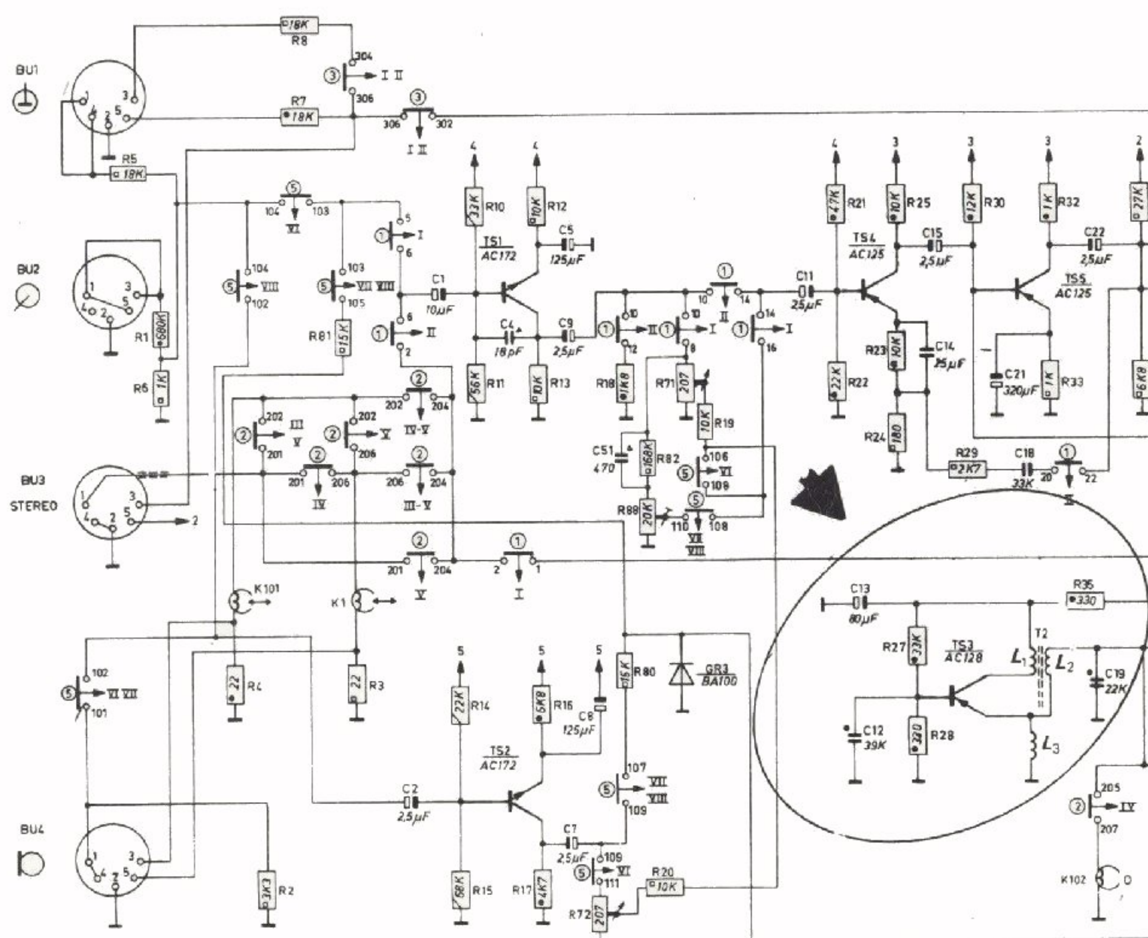
Bij deze oscillator-schakeling wordt een deel van de uitgangsspanning via een aftakking op L_2 en C_1 teruggevoerd naar de ingang van de transistor.

De spoel L_2 en de condensator C_2 vormen een selectief netwerk die bij de resonantie-frequentie een hoge impedantie heeft. Dus alleen spanningen met een frequentie gelijk aan de f_o van L_2 - C_2 worden maximaal teruggevoerd. Bij deze frequentie zorgt de transformator L_1 - L_2 voor de juiste fase tussen in- en uitgangsspanning.

- Welke componenten in laatstgenoemde schakeling bepalen de oscilleerfrequentie? [ ]

DE WIS-OSCILLATOR IN EEN BANDRECORDER

Bij het opnemen van geluidsinformatie op een magneetband, moet eventuele "oude informatie" die zich op de band bevindt "uitgewist" worden.
De magneetband passeert daarom eerst een z.g. wiskop en dan pas de opnamekop.
De wiskop levert een magnetisch wisselveld met een frequentie van 40 à 80 kHz.
De daarvoor benodigde wisselstroom wordt opgewekt door een ingebouwde wis-oscillator.



Vul in:

Het collectorsignaal van de transistor wordt teruggevoerd naar de ingang via de spoelen | L | | L |

De oscilleer-frequentie wordt bepaald door de componenten

ONGEWENST OSCILLEREN

Tot nu toe hebben we steeds gesproken over schakelingen die tot doel hebben een wisselspanning op te wekken: oscillatoren.

In principe kan echter elke elektronische schakeling met versterkerelementen gaan oscilleren als op een of andere wijze aan de oscilleervoorwaarden wordt voldaan.

Een versterker bijvoorbeeld, kan ongewild gaan oscilleren.
De uitgang is dan op een of andere wijze gekoppeld met de ingang, bijvoorbeeld door een onjuiste plaatsing van de onderdelen, een niet zorgvuldig aangebrachte bedrading, niet afgeschermde leidingen, onvoldoende ontkoppelde voedingsleidingen, enz.

We weten dat er tussen niet-afgeschermde draden die in elkaars buurt liggen een capacitieve en een inductieve koppeling bestaat. Op deze wijze kan er in een versterker een ongewenste koppeling tussen de ingang en de uitgang ontstaan, waardoor de schakeling gaat oscilleren.
De frequentie-afhankelijke componenten in de versterker bepalen dan de oscilleerfrequentie. Meestal is de frequentie nogal hoog, bijv. enkele MHz.

Het oscilleren van een versterker kan tot gevolg hebben dat het uitgangssignaal vervormd wordt, het uitgangvermogen vermindert en bepaalde componenten defect raken.
Vervorming van het uitgangssignaal ontstaat doordat tijdens het oscilleren van een of meer versterkertrappen de instelling verandert (begrenzing).
Het oscilleren vraagt vermogen en dit gaat ten koste van het versterkervermogen.
Het defect raken van componenten is te verklaren als men bedenkt dat het opgewekte signaal vele malen groter kan zijn dan het signaal van de versterker zelf.

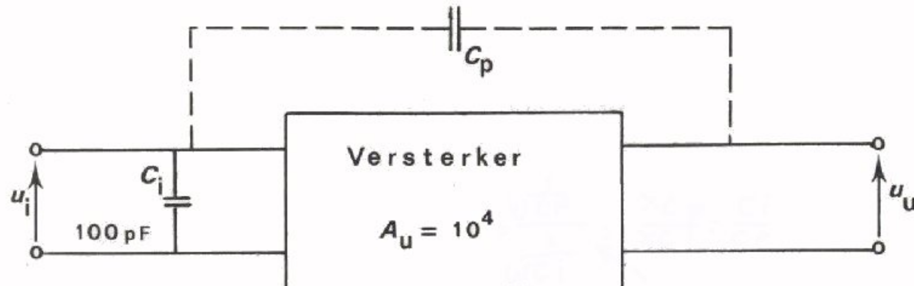
Men kan ongewenst oscilleren van een versterker meestal voorkomen door de in- en uitgang ver uit elkaar te leggen. Als dit niet mogelijk is dient men tussen de in- en de uitgang een afscherming aan te brengen.

OEFENING

Een versterker heeft een versterking A_u = 10 000.

De ingangsspanning is in fase met de uitgangsspanning.

De ingangscapaciteit van de versterker is 100 pF.



- Hoeveel mag de parasitaire capaciteit tussen uit- en ingang hoogstens zijn, opdat de versterker niet zal oscilleren?

C_p = [pF]

DE FREQUENTIE-STABILITEIT VAN OSCILLATORS

Aan de frequentie-stabiliteit van een oscillator worden vaak hoge eisen gesteld. De draaggolffrequentie van bijv. TV-zenders moet zeer constant zijn, omdat anders de afstemming van alle TV-ontvangers regelmatig moet worden bijgeregeld.

Bij een *LC*-oscillator wordt de oscilleer-frequentie bepaald door:

1. De *L* en de *C* van de resonantiekring.
2. De transistorcapaciteiten die deel uitmaken van de resonantiekring.
3. De belasting van de oscillator voor zover deze capacitief of inductief is.

De oscilleer-frequentie van een oscillator kan gemakkelijk variëren omdat:

1. De *L* van een spoel en de *C* van een condensator afhankelijk zijn van de omgevingstemperatuur; de omgevingstemperatuur is niet constant.
2. De transistorcapaciteiten afhankelijk zijn van de instelling van de transistor. De instelling verandert door voedingsspannings-variaties. Deze worden veroorzaakt door onvermijdelijke netspanningsvariaties.
3. De belasting die op de uitgang van een oscillator wordt aangesloten is meestal niet constant. Op de uitgang van een oscillator is bijv. de ingang van een verzwakker aangesloten. De ingangscapaciteit van een verzwakker is min of meer afhankelijk van de verzwakkerstand.

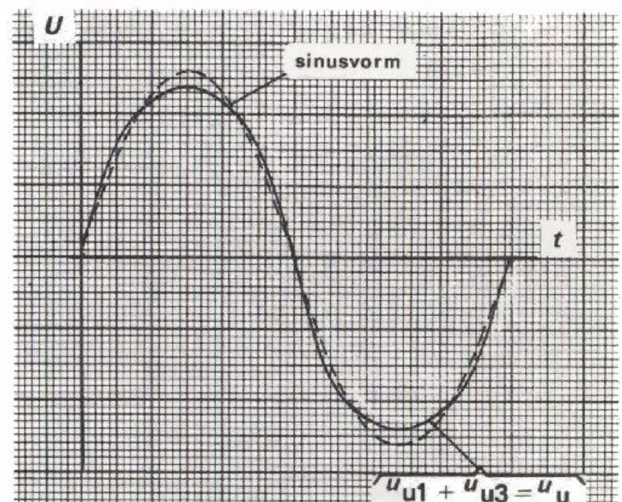
Door welke maatregelen kan men de oscilleerfrequentie constanter maken?

1. In de oscillatorkring, componenten gebruiken die weinig temperatuurafhankelijk zijn (bijv. mica- of polystyreen-condensators en luchtspoelen). Men kan ook een resonantiekring samenstellen waarvan bijv. de spoel een positieve temperatuur-coëfficiënt heeft en de condensator een evengrote negatieve temperatuur-coëfficiënt.
   Als een zeer stabiele oscilleerfrequentie nodig is, gebruikt men i.p.v. een *LC*-kring een kristal. (Op blad 22 komen we hierop terug).
2. De instelling van een transistor kan men constant houden door o.a. een gestabiliseerde voedingsspanning toe te passen.
3. De invloed van de belasting kan men verminderen door tussen de oscillator en de belasting een zogenaamde "buffer-trap" te schakelen. De buffer moet dan een zodanig hoge ingangsweerstand en een zodanig lage ingangscapaciteit hebben, dat de oscillator nauwelijks wordt belast.

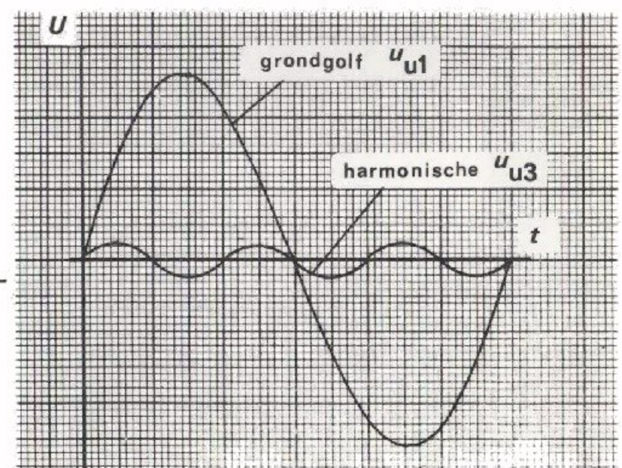
DE VERVORMING VAN EEN OSCILLATOR-SIGNAAL

Het signaal dat in een "sinus"-oscillator wordt opgewekt wijkt in de praktijk altijd min of meer af van de zuivere sinusvorm.
Vaak is de vervorming zo gering dat de afwijking op een oscilloscoop niet is waar te nemen. Met behulp van een zogenaamde vervormingsmeter kan men aantonen dat de uitgangsspanning van praktische oscillators niet helemaal sinusvormig verloopt.

De mate waarin de opgewekte spanning afwijkt van de zuivere sinusvorm drukt men uit met de zogenaamde "vervormings-factor" (distorsie-factor).
Wat men hiermee bedoelt zullen we nu uitleggen.



Veronderstel dat de uitgangsspanning van een *LC*-oscillator verloopt zoals hiernaast is weergegeven (getrokken kromme).
Het is duidelijk te zien dat de vorm van deze spanning afwijkt van de sinusvorm (gestippelde kromme). De positieve en de negatieve toppen van de spanning zijn enigszins afgeplat.



Bij nader inzien blijkt de vervormde uitgangsspanning (u_u) te zijn samengesteld uit de *som* van twee sinusvormige spanningen (zie hiernaast). De spanning u_{u1} noemt men de *grondgolf* van u_u; de spanning u_{u3} is de 3^e^ *harmonische* van u_u. Naarmate de amplitude van de harmonische kleiner is, zal de uitgangsspanning u_u minder afwijken van de sinusvorm.

De vervormingsfactor (δ) van een sinus-spanning is als volgt vastgesteld:

$$\delta = \frac{U_{u2t}}{U_{u1t}} \times 100\%$$

Als de uitgansspanning van een oscillator is samengesteld uit een grondgolf van 1 V en een harmonische van 10 mV, dan is de vervormingsfactor

van de uitgangsspanning δ = [   ] %

We hebben gezien dat het constant houden van de oscillator-frequentie niet eenvoudig te verwezenlijken is.

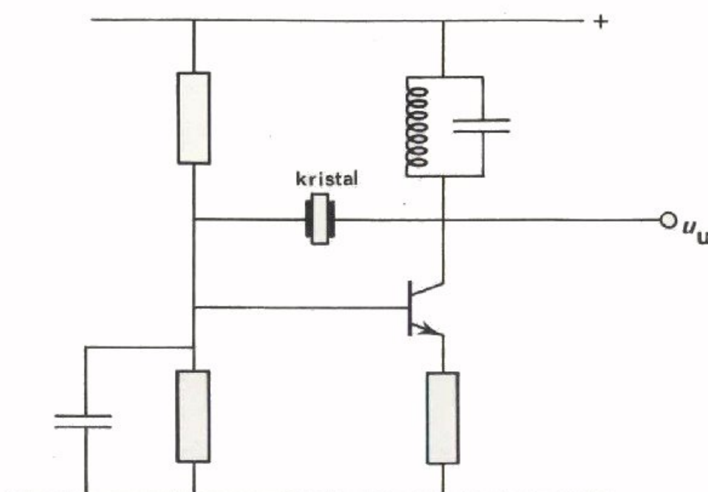
Voor oscillators waarvan de frequentie nauwkeurig constant moet blijven, maakt men dikwijls gebruik van een piëzo-elektrisch kristal.

Een piëzo-elektrisch kristal bestaat uit een op een bepaalde wijze gesneden plaatje kristal, dat aan beide zijden is voorzien met een geleidende laag. Sluiten we tussen deze lagen een wisselspanning aan dan raakt het kristal in een mechanische trilling. Voor elk kristal is er één frequentie waarbij deze trillingen maximaal zijn; de zognenaamde *eigen* -frequentie van het kristal. Deze frequentie, die bepaald wordt door de kristalstructuur en de afmetingen van het kristal, is bijzonder stabiel. Door het kristal te slijpen kan men de eigenfrequentie op de gewenste waarde instellen.

Een andere eigenschap van een mechanisch-trillend kristal is, dat t.g.v. de mechanische trilling een elektrische wisselspanning ontstaat. De frequentie van deze spanning is gelijk aan de frequentie waarin het kristal trilt. De spanningen zijn het grootst als het kristal maximaal trilt; dus bij de eigen-frequentie.

Een kristal gedraagt zich aldus als een parallelkring van zeer goede kwaliteit. De kwaliteitsfactor Q van een kristal kan 100 000 of meer zijn. (De Q-factor van een gewone LC-kring ligt in de grootte orde van 100).

Op de volgende pagina is een schema van een kristal-oscillator afgebeeld. De oscilleer-frequentie is gelijk aan de eigenfrequentie van het kristal. De preciese werking van de schakeling is nogal ingewikkeld; daarom zullen wij er niet dieper op ingaan. Het kristal dat hier tussen collector en basis is aangebracht, kan ook op andere plaatsen worden geschakeld.

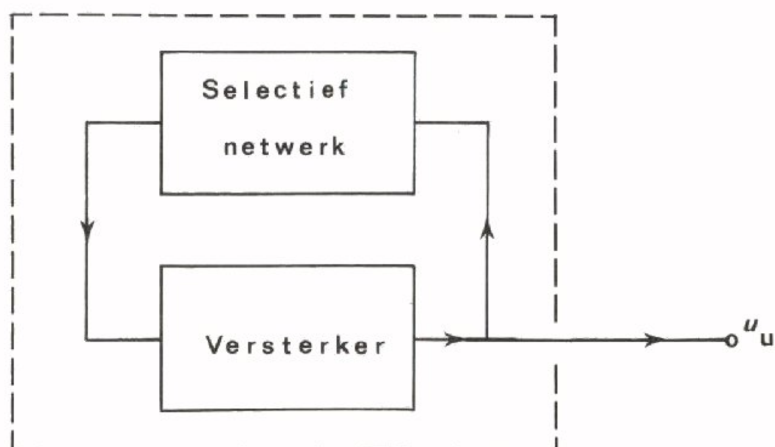


Kristaloscillators worden dus toegepast op plaatsen waar wisselspanningen met een zeer stabiele frequentie moeten worden opgewekt.
Bij professionele toepassingen (bijv. in zenders) plaatst men de daar gebruikte kristaloscillator bovendien in een thermostaat.

SAMENVATTING

- Een oscillator is een elektronische schakeling waarmee wisselspanning wordt opgewekt.

- Een oscillator is in principe een versterker waarvan een deel van de uitgangsspanning op een bepaalde manier wordt teruggevoerd naar de ingang.



- De oscilleervoorwaarden zijn:
  1. Er moet een beginsignaal zijn: ruis.
  2. Er moet een frequentie zijn waarbij de fasehoek tussen de teruggevoerde spanning en de ingangsspanning van de versterker 0^0 is.
  3. Bij die frequentie moet bij het starten van de oscillator, de versterking groter zijn dan 1.
  4. Tijdens het oscilleren moet de rondgaande versterking worden begrensd tot 1.

- Als het selectieve netwerk uit een *LC*-kring bestaat, noemt men de oscillator een *LC*-oscillator.
  De frequentie van de opgewekte wisselspanning wordt bepaald door de resonantie-frequentie van de *LC*-kring.

- Ook schakelingen met versterkende elementen die een andere functie hebben, kunnen oscilleren: het zogenaamde parasitair oscilleren.

- De uitgangsspanning van een sinus-oscillator wijkt altijd min of meer af van de zuivere sinusvorm.

  De vervormingsfactor $\delta = \frac{\text{topwaarde harmonische}}{\text{topwaarde grondgolf}} \times 100\%$

- De frequentie-stabiliteit van een oscillator kan nadelig worden beïnvloed door:
  - Variaties van de voedingsspanning.
  - Veranderingen van de omgevingstemperatuur.
  - Belastingsvariaties.

- Oscillators waarvan een grote frequentie-nauwkeurigheid wordt geëist, zijn meestal uitgerust met een kristal.

  De kristal fungeert dan als een zeer selectieve kring.
  Een kristal-oscillator oscilleert in de eigen-frequentie van het kristal.

NAAM:

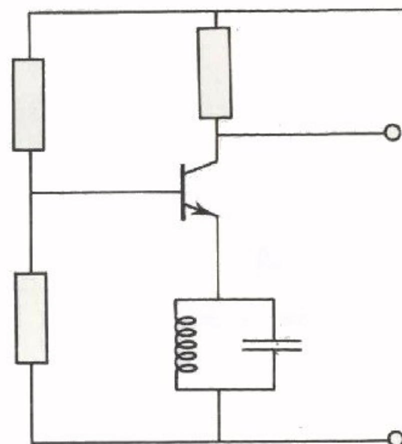
KLAS:

OEFENINGEN

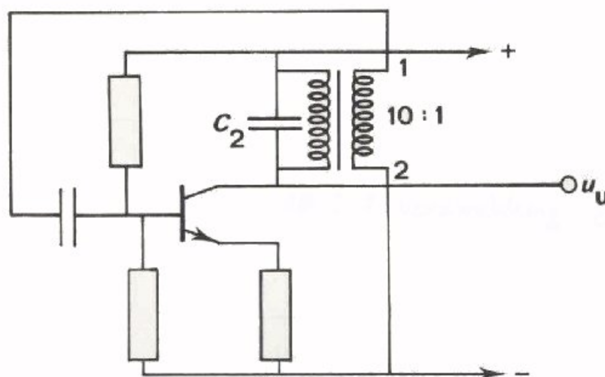
1. Nevenstaande schakeling kan niet oscilleren omdat:

   1. ______________________________

   2. ______________________________



2.



Deze oscillator levert een wisselspanning met een frequentie van 1 MHz.

- Hoe groot is tijdens het oscilleren de versterking tussen ingang en collector.

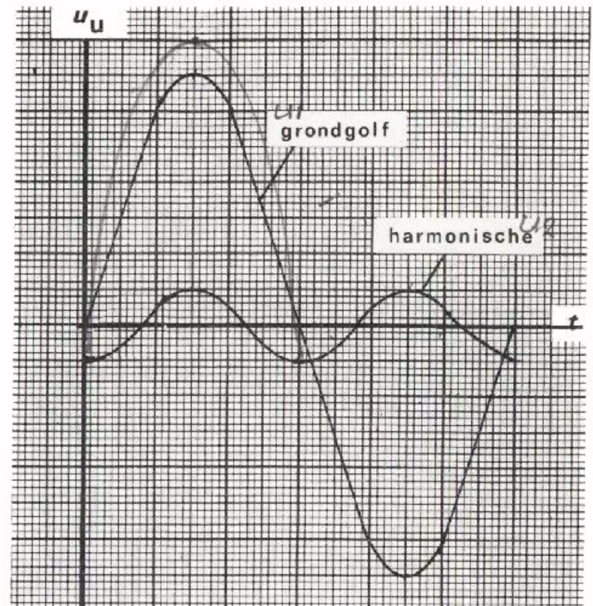
A_u =

- Hoe hoog wordt de oscillator-frequentie als aan C_2 een condensator van dezelfde capaciteit parallel wordt geschakeld.

$f \approx$ MHz

- Wat gebeurt er als de aansluitingen aan de punten 1 en 2 worden verwisseld en waarom?

3. De uitgangsspanning van een sinus-generator blijkt te zijn samengesteld uit 2 sinusvormige spanningen die hiernaast zijn afgebeeld.

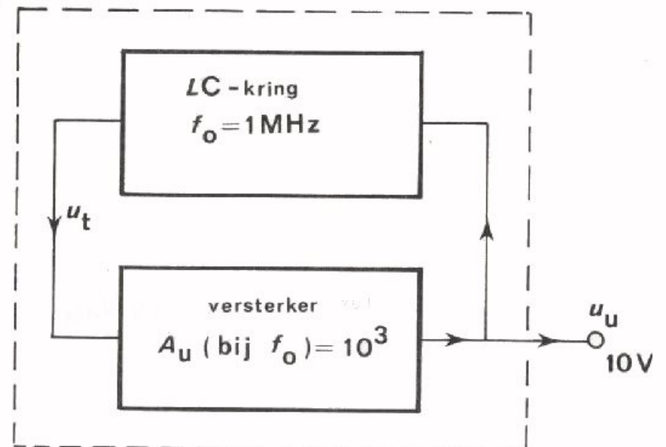


- Schets in dezelfde figuur het verloop van die uitgangsspanning.
- Hoe groot is de vervormingsfactor van de uitgangsspanning?

δ = [%]

4. Hiernaast is het blokschema van een *LC*-oscillator getekend.

$U_{u(eff)} = 10$ V



Gevraagd:

- Hoe groot is de oscilleerfrequentie?

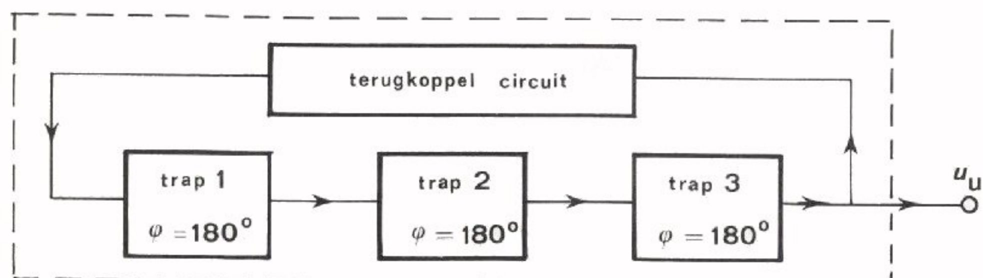
f = [MHz]

- Hoe groot is tijdens het oscilleren het toegevoerde signaal U_t?

$U_{t(eff)}$ = [mV]

- Veronderstel dat de versterker bestaat uit 3 trappen die elk 180^0 fasedraaiing veroorzaken.
  Hoeveel fasedraaiing geeft dan het terugkoppelcircuit?

φ = [ ]



C 16

OSCILLATORSCHAKELINGEN II

RC - OSCILLATORS

DE BELANGRIJKSTE PUNTEN UIT DE VORIGE LES

- Een oscillator is een elektronische schakeling waarmee wisselspanning wordt opgewekt.

- Een oscillator is in principe een versterker waarvan een deel van de uitgangsspanning op een bepaalde manier wordt teruggevoerd naar de ingang.

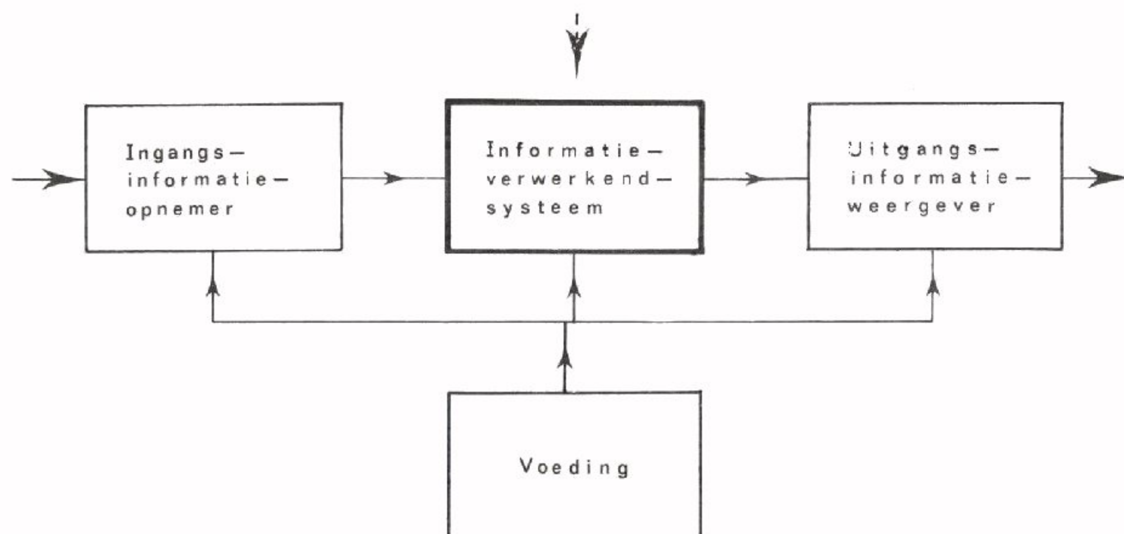
- De oscilleervoorwaarden zijn:
  1. Er moet een beginsignaal zijn: hiervoor zorgt de altijd aanwezige ruis.
  2. Er moet een frequentie zijn waarbij de fasehoek tussen de teruggevoerde spanning en de ingangsspanning van de versterker 0^0 is.
  3. Bij die frequentie moet bij het starten van de oscillator, de versterking groter zijn dan 1.
  4. Tijdens het oscilleren moet de rondgaande versterking worden begrensd tot 1.

- Als het selectieve netwerk uit een *LC*-kring bestaat, noemt men de oscillator een *LC*-oscillator.
  De frequentie van de opgewekte wisselspanning wordt bepaald door de resonantie-frequentie van de *LC*-kring.

WAT ER IN DEZE LES AAN DE ORDE KOMT

Alle in de vorige les besproken oscillatorschakelingen waren voorzien van een selectief netwerk, bestaande uit een spoel en een condensator.
In deze les bespreken we een ander type oscillator waarvan het selectieve netwerk is opgebouwd uit *weerstanden* en *condensators*. Dit type oscillator noemt men: "*RC-oscillators*".
LC-oscillators worden voornamelijk gebruikt voor het opwekken van sinusvormige spanningen met hoge frequenties (vanaf ca. 100 kHz en hoger).
RC-oscillators worden meestal voor LF-doeleinden toegepast (tot ca. 100 kHz).

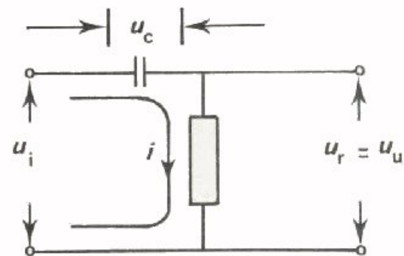
OSCILLEREN IS EEN ONDERDEEL VAN INFORMATIE-VERWERKING



DE SERIESCHAKELING VAN C EN R

Om de werking van RC-oscillators te begrijpen, is het nodig de eigenschappen van een RC-filter te kennen. We herhalen daarom eerst in het kort de belangrijkste eigenschappen van een RC-filter.

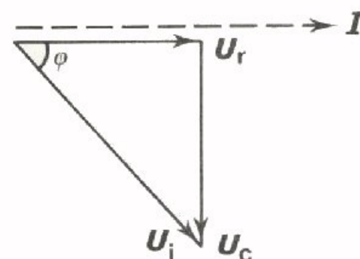
Wordt een serieschakeling van een condensator en een weerstand aangesloten op een wisselspanning (u_i), dan vloeit er een wisselstroom (i), waarvan de grootte afhankelijk is van R en C.



De aangelegde wisselspanning verdeelt zich over de C en de R:

- De spanning over de weerstand (u_r) is *in fase* met de stroom.

- De spanning over de condensator (u_c) *ijlt* 90^0 *na* op de stroom.

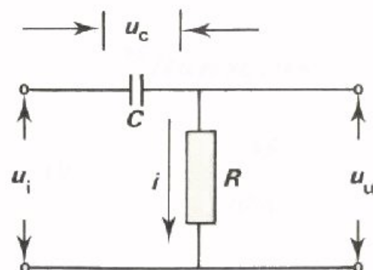


Uit het vectordiagram blijkt dat de spanning over de weerstand, die tevens de uitgangsspanning is, een bepaalde hoek φ vóórijlt op de aangelegde spanning.
In deze les zijn twee eigenschappen van dit RC-filter erg belangrijk.

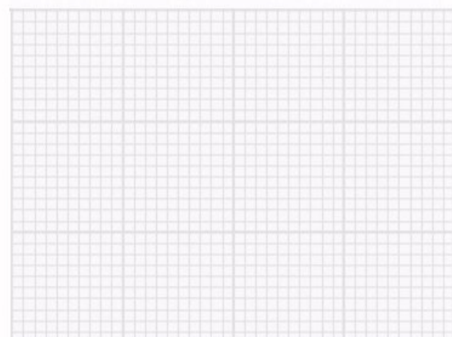
- De uitgangsspanning ijlt een hoek φ vóór op de ingangsspanning.
- De uitgangsspanning is altijd kleiner dan de ingangsspanning.

OEFENING

In nevenstaand RC-filter is R = 10 kΩ en C = 16 nF. De frequentie van de ingangsspanning is 1 kHz.



Teken hiernaast het vectordiagram van u_i; u_c en u_u.



Hoe groot is de fasehoek tussen u_u en u_i? φ = [ ]

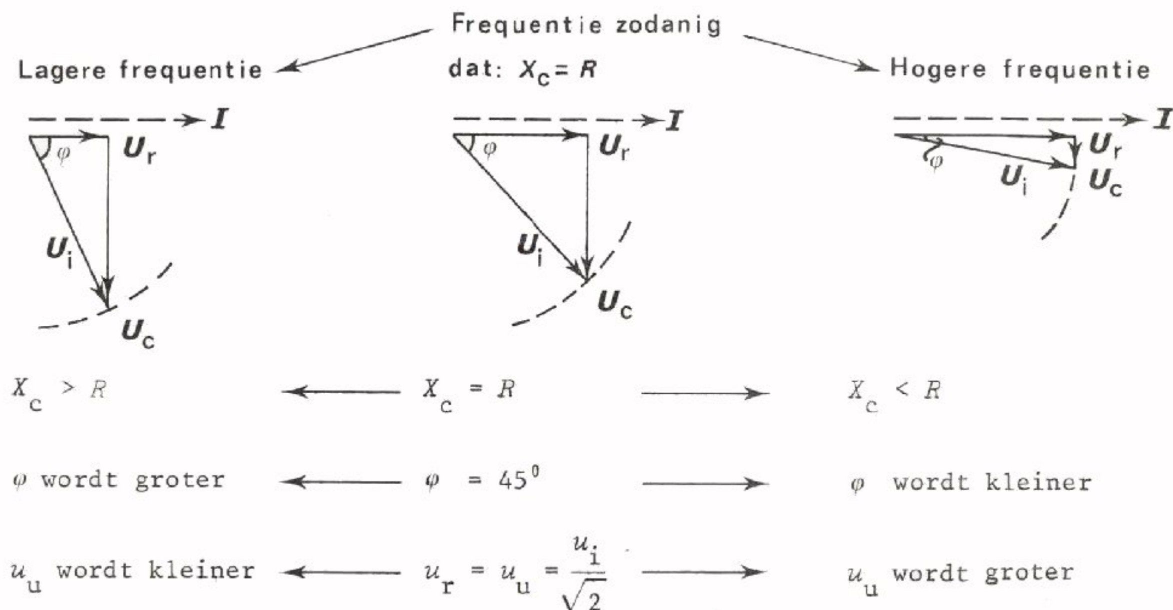
Bepaal de verzwakking

V_u = [ ]

DE EIGENSCHAPPEN VAN EEN *RC*-FILTER BIJ UITEENLOPENDE FREQUENTIES

De verzwakking van een *RC*-filter en de fasehoek tussen in- en uitgangsspanning hangen af van de frequentie van het toegevoerde signaal.

In drie vectordiagrammen is het gedrag van dit filter weergegeven bij drie verschillende frequenties.
De amplitude van de ingangsspanning is constant gehouden.



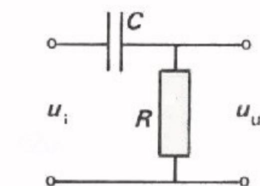
$X_c > R$	⟵	$X_c = R$	⟶	$X_c < R$
φ wordt groter	⟵	$\varphi = 45^0$	⟶	φ wordt kleiner
u_u wordt kleiner	⟵	$u_r = u_u = \frac{u_i}{\sqrt{2}}$	⟶	u_u wordt groter

Naarmate de frequentie hoger is:

- is de fasehoek kleiner,
- is de uitgangsspanning hoger.

De fasehoek is echter altijd kleiner dan 90^0.
De uitgangsspanning is altijd kleiner dan de ingangsspanning.

OEFENING



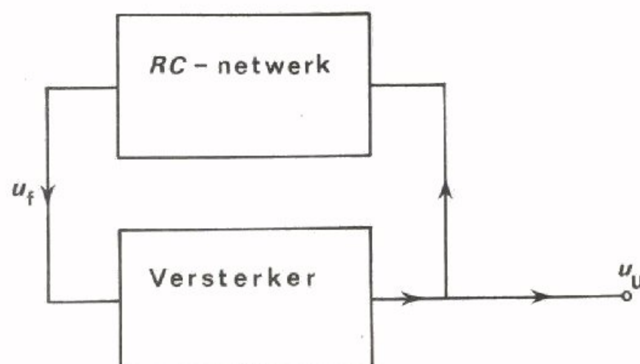
Van dit *RC*-filter is gegeven.
De ingangsspanning $U_{i(eff)} = 12$ V.
De fasehoek $\varphi = 60^0$.

- Hoe hoog is de uitgangsspanning u_u? $U_{u(eff)}$ = [ ]
- Hoeveel bedraagt de verzwakking van dit filter? V_u = [ ]
- Als parallel aan *R* een weerstand van dezelfde waarde wordt geschakeld wat gebeurt er dan?

- fasehoek φ **wordt kleiner / blijft gelijk / wordt groter**
- verzwakking V_u **wordt kleiner / blijft gelijk / wordt groter**

HET PRINCIPE VAN EEN RC-OSCILLATOR

Een *RC*-oscillator bestaat uit één of meer versterkertrappen waarvan het uitgangssignaal via een *RC*-netwerk wordt teruggevoerd naar de ingang. (Het *RC*-netwerk bestaat meestal uit meerdere *RC*-combinaties).

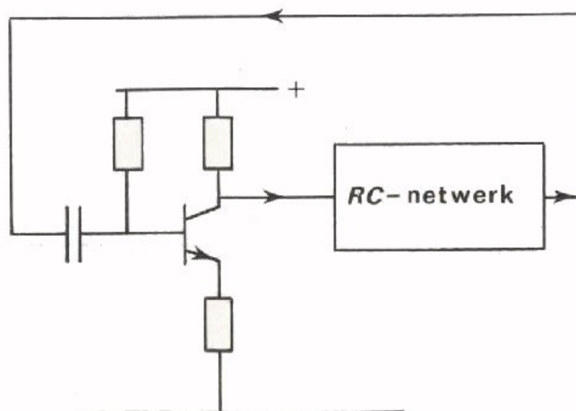


Slechts voor één frequentie is er geen fasedraaiing tussen het teruggevoerde signaal (u_f) en het voorafgaande ingangssignaal van de versterker. Op deze frequentie zal de schakeling dan ook gaan oscilleren, mits de rondgaande versterking hierbij gelijk is aan één. (Als de verzwakking van het *RC*-netwerk bijv. 30 is, moet de versterker tenminste 30 x versterken om de schakeling aan het oscilleren te houden).

Er bestaand *RC*-oscillatoren waarvan de versterker een fasedraaiing veroorzaakt van 180°. In het *RC*-netwerk treedt dan bij de oscilleerfrequentie ook een fasedraaiing op van 180°.
Er zijn ook *RC*-oscillatoren waarvan de fasedraaiing van de versterker 360° is. Het *RC*-netwerk geeft dan bij de oscilleerfrequentie geen fasedraaiing. Beide type oscillators komen in deze les aan de orde. We beginnen met de eerstgenoemde soort.

OEFENING

Van deze *RC*-oscillator is gegeven dat het *RC*-netwerk 25 x verzwakt.



- Hoeveel versterkt de transistor?

  A_u = ☐

- Hoeveel fasedraaiing veroorzaakt de transistor?

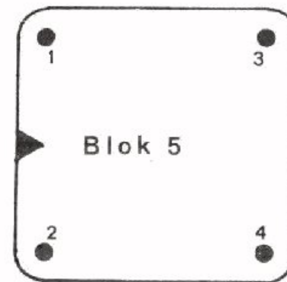
  φ_1 = ☐

- Hoe groot is de fasedraaiing van het *RC*-netwerk?

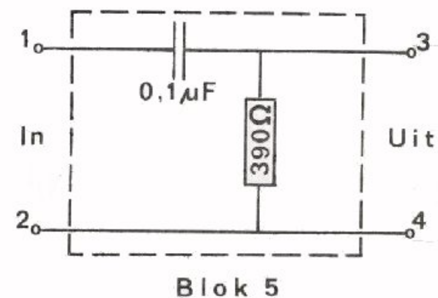
  φ_2 = ☐

OPDRACHT: EEN ENKELVOUDIG *RC*-FILTER

- Plaats blok 5 op uw paneel.



- Blok 5 bevat een *RC*-filter zoals hiernaast getekend.
  De ingang bevindt zich tussen de punten 1 en 2; de uitgang tussen 3 en 4.

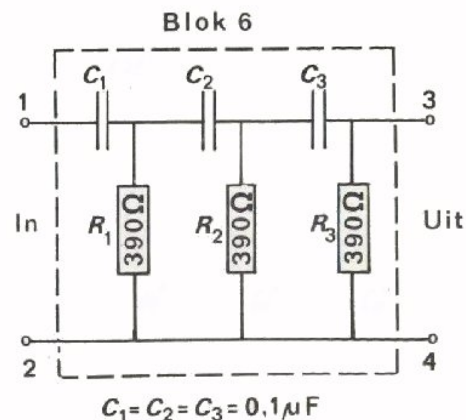


- Leg een spanning van ca. 10 V met een frequentie 2400 Hz aan de ingang van het filter.
- Meet m.b.v. een dubbelstraaloscilloscoop gelijktijdig de ingangsspanning en de uitgangsspanning.
- Bepaal:
  - de fasedraaiing tussen u_i en u_u. φ = [ ]
  - de verzwakking $\frac{u_i}{u_u}$ V_u = [ ]
- Maak de frequentie van de ingangsspanning zo hoog mogelijk en zo laag mogelijk. De fasedraaiing is het grootst bij de **laagste/hoogste** frequentie, maar blijft altijd kleiner dan [ ]
- Als we meerdere van deze *RC*-combinaties achter elkaar plaatsen hebben we er minstens **2 / 3 / 4** nodig om een fasedraaiing $\varphi = 180^0$ te krijgen.
- De verzwakking zal dan minstens V_u = [ ] zijn.

  We gaan dit in een volgende opdracht controleren.

OPDRACHT: EEN DRIEVOUDIG *RC*-FILTER

- Vervang blok 5 door blok 6.
- In blok 6 bevindt zich nevenstaand *RC*-netwerk. Het bevat 3 achter elkaar geschakelde filters volgens blok 5.



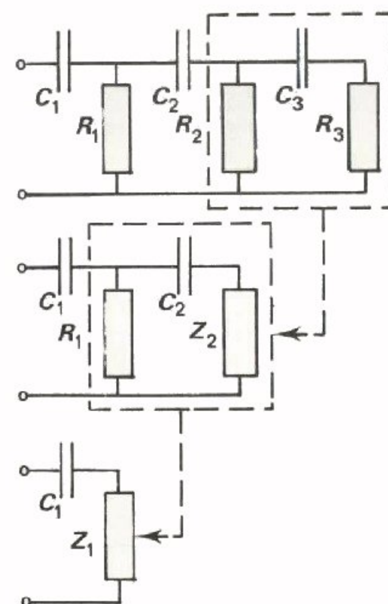
- Meet opnieuw bij 2400 Hz:
  - de fasedraaiing; φ =
  - de verzwakking; V_u =

U zou misschien hebben verwacht dat bij een combinatie van driemaal het filter volgens blok 5
$\varphi = 3 \times 60 = 180^0$ en
$V_u = 0{,}5 \times 0{,}5 \times 0{,}5 = 0{,}125 = \frac{1}{8}$.
Dit blijkt echter niet waar te zijn.

- Bij welke frequentie is de fasedraaiing wél 180^0? f =
- Hoe groot is in dit geval de verzwakking? V_u =

WAT IS DE OORZAAK VAN DEZE VERSCHILLEN?

Elke *RC*-combinatie heeft invloed op het gedrag van de voorgaande *RC*-combinatie.



De serieschakeling C_3R_3 staat parallel aan R_2.
Het tweede filter bestaat dus niet uit C_2 en R_2 maar uit C_2 en een impedante Z_2. (Z_2 bestaat uit R_2, R_3 en C_3).

De serieschakeling C_2Z_2 staat parallel aan R_1.
Het eerste filter bestaat dus niet uit C_1 en R_1 maar uit C_1 en een impedantie Z_1. (Z_1 bestaat uit R_1, C_2 en Z_2).

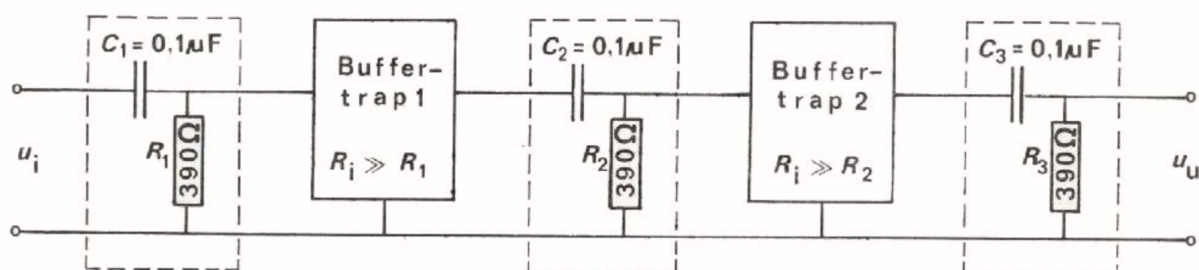
Dat is de reden dat we een heel andere frequentie hebben gevonden waarbij de fasedraaiing 180^0 is, dan we oppervlakkig gezien zouden verwachten.
Daardoor is ook de verzwakking veel kleiner geworden dan $\frac{1}{8}$.
Op het volgend blad gaan we bekijken hoe we dit effect kunnen verminderen.

HOE KAN DE ONDERLINGE INVLOED VAN *RC*-FILTERS VERKLEIND WORDEN?

We zullen twee methoden bespreken waarmee de onderlinge invloed van achter-elkaar-geschakelde *RC*-filters wordt verminderd.

1e Methode

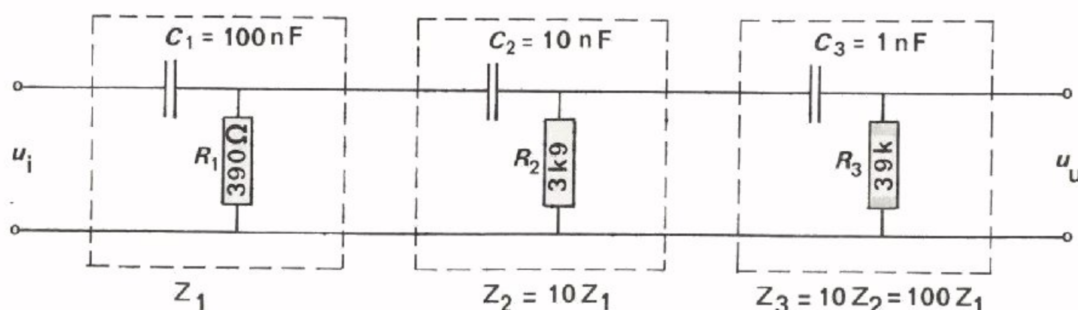
De *RC*-filters van elkaar scheiden d.m.v. buffertrappen.



Buffertrap 1 heeft een R_i die zeer groot is t.o.v. R_1. R_1 wordt dus nagenoeg niet belast, zodat filter R_1-C_1 weinig wordt beïnvloed door filter R_2-C_2.
Buffertrap 2 heeft een R_i die zeer groot is t.o.v. R_2. R_2 wordt dus bijna niet belast, zodat de beïnvloeding van filter R_2-C_2 door het filter R_3-C_3 gering is.
Als tenslotte de spanning u_u wordt afgenomen met een schakeling waarvan de R_i zeer groot is t.o.v. R_3, wordt ook het laatste filter niet noemenswaardig belast.
Als buffertrap gebruikt men een "schakeling met een gemeenschappelijke collector" (een emitter-volger). Dit soort schakelingen is o.a. bekend om hun hoge ingangsweerstand.

2e Methode

Ongelijke *RC*-filters toepassen.



Om de invloed van de tweede *RC*-combinatie op de eerste te verkleinen, kan men C_2 en R_2 zó kiezen dat de impedantie van de serieschakeling C_2-R_2 bijv. 10x groter is dan de impedantie van de eerste *RC*-combinatie.
Als men er tevens voor zorgt dat de verhouding R_2/X_{C2} gelijk blijft aan die van de eerste combinatie, dan blijven de fasehoek en de verzwakking ook gelijk.
Hetzelfde kan men doen voor de derde *RC*-combinatie t.o.v. de tweede. De condensators van de tweede en derde *RC*-combinatie zijn resp. 10x en 100x kleiner en de weerstanden resp. 10x en 100x groter dan van de eerste combinatie.
De verhouding R/X_C is in alle drie de *RC*-combinaties hetzelfde.

OPDRACHT: EEN *RC*-NETWERK MET ONGELIJKE *RC* FILTERS

- Vervang blok 6 door blok 7.
  Blok 7 bevat het *RC*-netwerk dat onder aan pag. 8 is afgebeeld.

- Bepaal de frequentie waarbij de fasehoek tussen in- en uitgangsspanning 180^0 is.

f = ☐

- Hoeveel is de verzwakking van het filter?

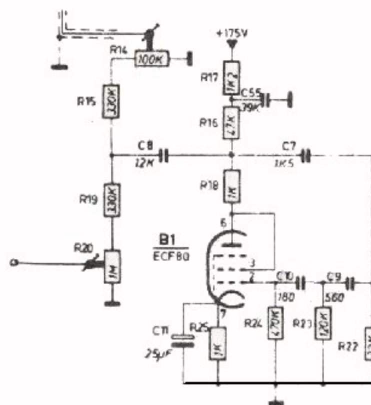
V_u = ☐

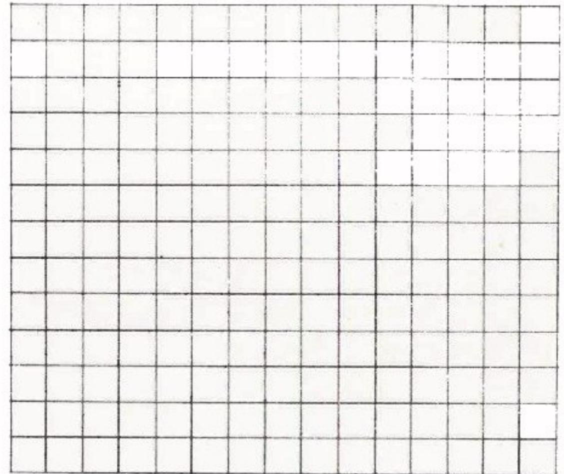
CONCLUSIE

U ziet, dat de frequentie waarbij dit filter een fasedraaiing van 180^0 heeft, nog maar weinig afwijkt van de frequentie waarbij het filter R_1C_1 een fasedraaiing van 60^0 heeft.
Ook de verzwakking van dit filter wijkt niet veel meer af van $V_u = \frac{1}{8}$.

OEFENING

In het volgende schema is een praktische *RC*-oscillator afgebeeld. De versterker, bestaande uit een elektronenbuis, veroorzaakt een fasedraaiing van 180^0. Een *RC*-netwerk geeft bij de oscilleerfrequentie ook een fasedraaiing van 180^0, zodat het teruggevoerde signaal in fase is met het ingangssignaal van de versterker.





- Teken het fasedraaiend netwerk van deze oscillator.

  Geef in uw tekening aan:

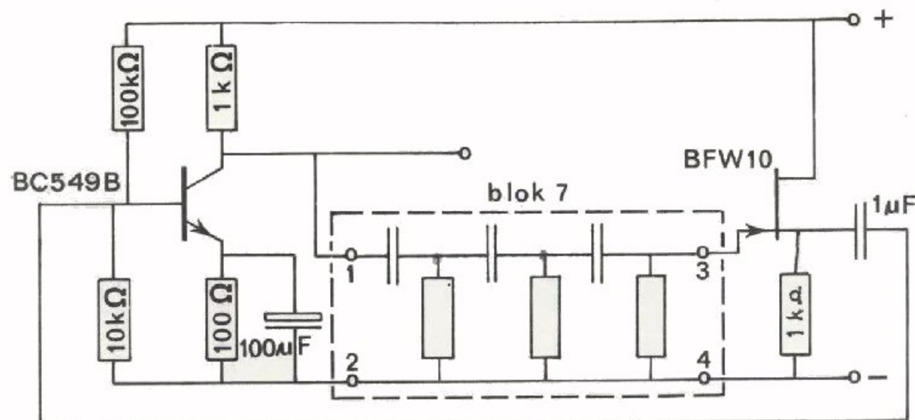
  - Welke *R*'s en *C*'s het zijn.
  - Waar zich de ingang en de uitgang van het filter bevinden.

- De opbouw van dit filter lijkt het meest op dat van het filter volgens

  blok **6 / 7**

OPDRACHT: HET METEN AAN EEN *RC*-OSCILLATOR

- Bouw onderstaande *RC*-oscillator op het oefenpaneel.



De oscillator bestaat uit een versterker (BC549B), een *RC*-netwerk (blok 7) en een source-volger (BFW10). Deze laatste trap met zijn hoge ingangsweerstand dient als buffer tussen de uitgang van het filter en de ingang van de versterker. De source-volger voorkomt dat de uitgang van het filter (39 kΩ) wordt belast met de betrekkelijk lage ingangsweerstand van de versterker.

- Verbind het ene kanaal van een dubbelstraaloscilloscoop met de uitgang van de oscillator (collector BC549B), en het andere kanaal met de ingang van de versterker (basis BC549B). Gebruik afgeschermde meetkabels.

- Regel de voedingsspanning langzaam op tot de schakeling begint te oscilleren. Stel daarna de voedingsspanning zodanig in dat de uitgangsspanning van de oscillator niet zichtbaar vervormd is ($U_{u(tt)}$ = 1 à 2 V).

- Meet de oscilleerfrequentie f = [Hz]

- Komt deze frequentie ongeveer overeen met de frequentie waarbij het *RC*-netwerk 180^0 fasedraaiing geeft? (Vergelijk met opdracht 3).

[ja / nee]

- Hoeveel versterkt de BC549B? A_u = [   ]

- Komt deze versterking ongeveer overeen met de verzwakking van blok 7?

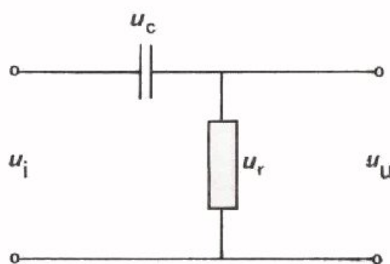
[ja / nee]

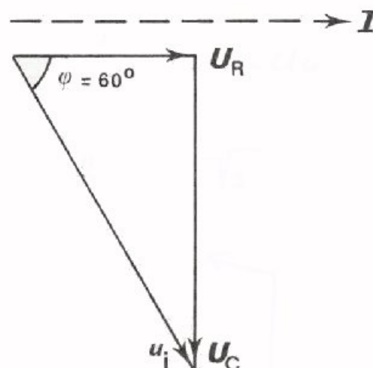
- Breek de schakeling af.

HET BEREKENEN VAN DE OSCILLEERFREQUENTIE

Bij opdracht 4 (vorige pagina) hebben we ervaren dat de oscilleerfrequentie van de *RC*-oscillator overeenkomt met de frequentie waarbij het *RC*-netwerk 180^0 fasedraaiing geeft. We gaan nu *berekenen* bij welke frequentie dit is.

Bij het *RC*-netwerk van blok 7 beïnvloeden de *RC*-leden elkaar nagenoeg niet. Dit hebben we besproken op pagina 8. Als het totale netwerk dus 180^0 fasedraaiing veroorzaakt, zal elk *RC*lid een fasedraaiing van 60^0 geven. Deze situatie is hieronder getekend.





Bij een fasedraaiing van 60^0 tussen u_i en u_u is $U_{ct} = \sqrt{3} \times U_{rt} \approx 1,7\ U_{rt}$ (meet dit na met een lineaal).

Dus: $\dfrac{I_t}{\omega C} \approx 1,7.I_t.R$

Delen door I_t geeft: $\dfrac{1}{\omega C} \approx 1,7\ R$

Kruislings vermenigvuldigen: $1,7\,\omega RC \approx 1$

of : $1,7.2\pi.f.RC \approx 1$

We vullen nu in deze formule de *R*- en *C*-waarde in van het eerste lid van blok 7. (R = 390 Ω; C = 100 nF).

$$f \approx \frac{1}{1,7.6,28.390.100\ \ 10^{-9}} \approx \mathbf{2400}\ \text{Hz}$$

Dit komt overeen met de oscilleerfrequentie die we op pag. 9 hebben gemeten.

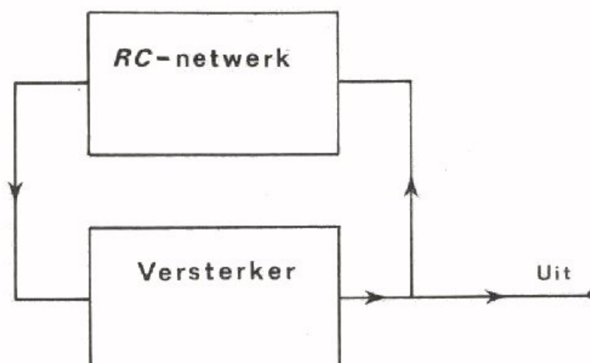
OEFENING

Bereken f bij: R = 3k9 en C = 10 nF (2e lid van blok 7) f_1 = [Hz]

R = 39k en C = 1 nF (3e lid van blok 7) f_2 = [Hz]

KORTE TERUGBLIK

- Een *RC*-oscillator bestaat uit een versterker waarvan het uitgangssignaal via een *RC*-netwerk wordt teruggevoerd naar de ingang.

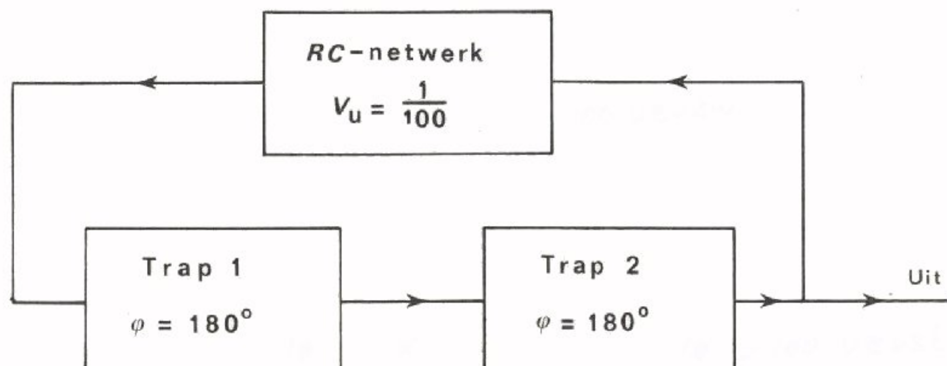


Slechts voor één frequentie is er geen fasedraaiing tussen het teruggevoerde signaal en het voorafgaande ingangssignaal van de versterker. In deze frequentie zal de schakeling gaan oscilleren, mits de rondgaande versterking hierbij gelijk is aan één.

- Er bestaan *RC*-oscillators waarvan de versterker een fasedraaiing veroorzaakt van 180^0. In het *RC*-netwerk treedt dan bij de oscilleerfrequentie ook een fasedraaiing op van 180^0. Dit type *RC*-oscillator is in het voorgaande uitgebreid aan de orde geweest.
Er zijn ook *RC*-oscillators waarvan de fasedraaiing van de versterker 360^0 is. Het *RC*-netwerk geeft dan bij de oscilleerfrequentie geen fasedraaiing. Dit type *RC*-oscillator gaan we in het vervolg van deze les behandelen.

OEFENING

Deze *RC*-oscillator bestaat uit twee gelijke versterkertrappen die elk 180^0 fasedraaiing veroorzaken, en een *RC*-netwerk dat 100x verzwakt.

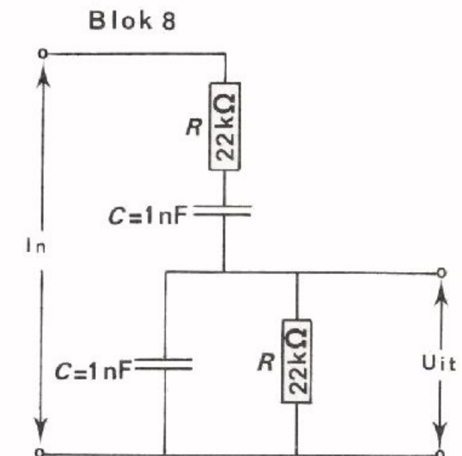


Hoeveel versterkt elke trap? A_u =

Hoe groot is de fasedraaiing van het *RC*-netwerk? φ =

OPDRACHT: HET METEN AAN EEN WIENFILTER

Een *Wienfilter* is een *RC*-filter dat bij één bepaalde frequentie *geen fasedraaiing* geeft.
Een Wienfilter is opgebouwd uit een *RC*-serie- en een *RC*-parallelschakeling.
Meestal gebruikt men *gelijke* weerstanden en condensators.



- Plaats blok 8 op uw paneel.
  Blok 8 bevat een Wienfilter zoals hiernaast getekend.
  De ingang van het filter bevindt zich tussen de punten 1 en 2; de uitgang tussen de punten 3 en 4.
- Sluit een LF-generator aan op de ingang en verbind de Y-kanalen van een dubbelstraaloscilloscoop met resp. de ingang en de uitgang van het filter.
- Meet bij welke frequentie de fasedraaiing tussen in- en uitgangsspanning 0^0 bedraagt.

f = [Hz]

- Hoe groot is bij die frequentie de verzwakking van het filter?

V_u = [ ]

OEFENING

- Als we m.b.v. bovenstaand filter een *RC*-oscillator bouwen, hoe groot moet dan de fasedraaiing van de toegepaste versterker zijn?

φ (versterker) = [ ]

- Hoe groot moet de versterking dan minstens zijn?

A_u(versterker) = [ ]

- Hoe hoog is dan de oscilleerfrequentie?

f = [ ]

OPMERKING

De versterking van de versterker van een *RC*-oscillator met Wienfilter is zeer klein (3x). Een normale versterker versterkt meestal veel meer. Er kan dan een grote tegenkoppeling worden toegepast. Dit resulteert dan weer in een grote stabiliteit van de schakeling en weinig vervorming van de uitgangsspanning.

HET BEREKENEN VAN DE OSCILLEERFREQUENTIE

Bij de opdracht van het vorige blad hebben we ervaren dat bij één bepaalde frequentie het Wienfilter geen fasedraaiing veroorzaakt. Bij deze frequentie gaat een *RC*-oscillator, waarin het Wienfilter is opgenomen, oscilleren.

We gaan nu na hoe we deze frequentie kunnen berekenen.

Hieronder is nogmaals het Wienfilter getekend.

u_{tot} is de ingangsspanning van het filter; u_2 is de uitgangsspanning.

De bijbehorende vectordiagrammen gelden voor de gevallen dan $u_r = u_c$ en $i_r = i_c$.

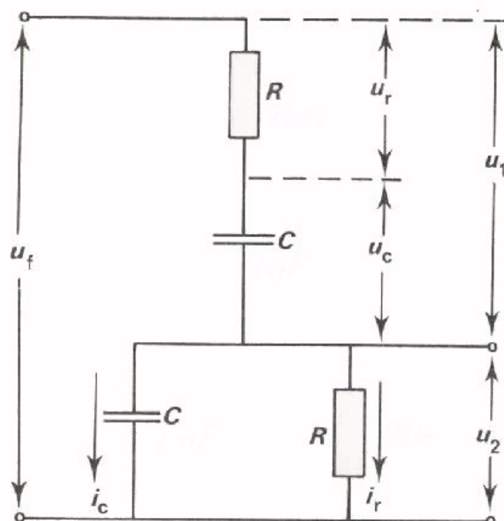
Het vectordiagram van de parallelschakeling van R en C hebben we zodanig gedraaid dat de richting i_{tot} in beide diagrammen dezelfde is.

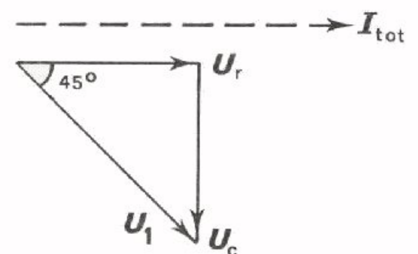
We zien nu dat u_1 in fase is met u_2. Dus ook $u_t = (u_1 + u_2)$ is hiermee in fase.

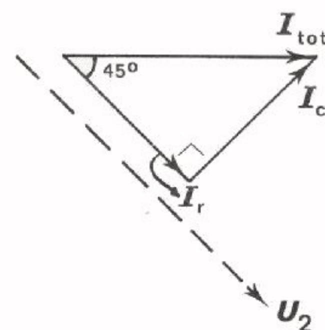
We kunnen dus stellen dat de uitgangsspanning van het filter in fase is met de ingangsspanning, indien $u_r = u_c$ en $i_r = i_c$. Dus als $R = X_C$,

òf $R = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f.C}$, òf $2\pi f.CR = 1$; dus bij een frequentie

$$\boxed{f = \frac{1}{2\pi RC}}$$







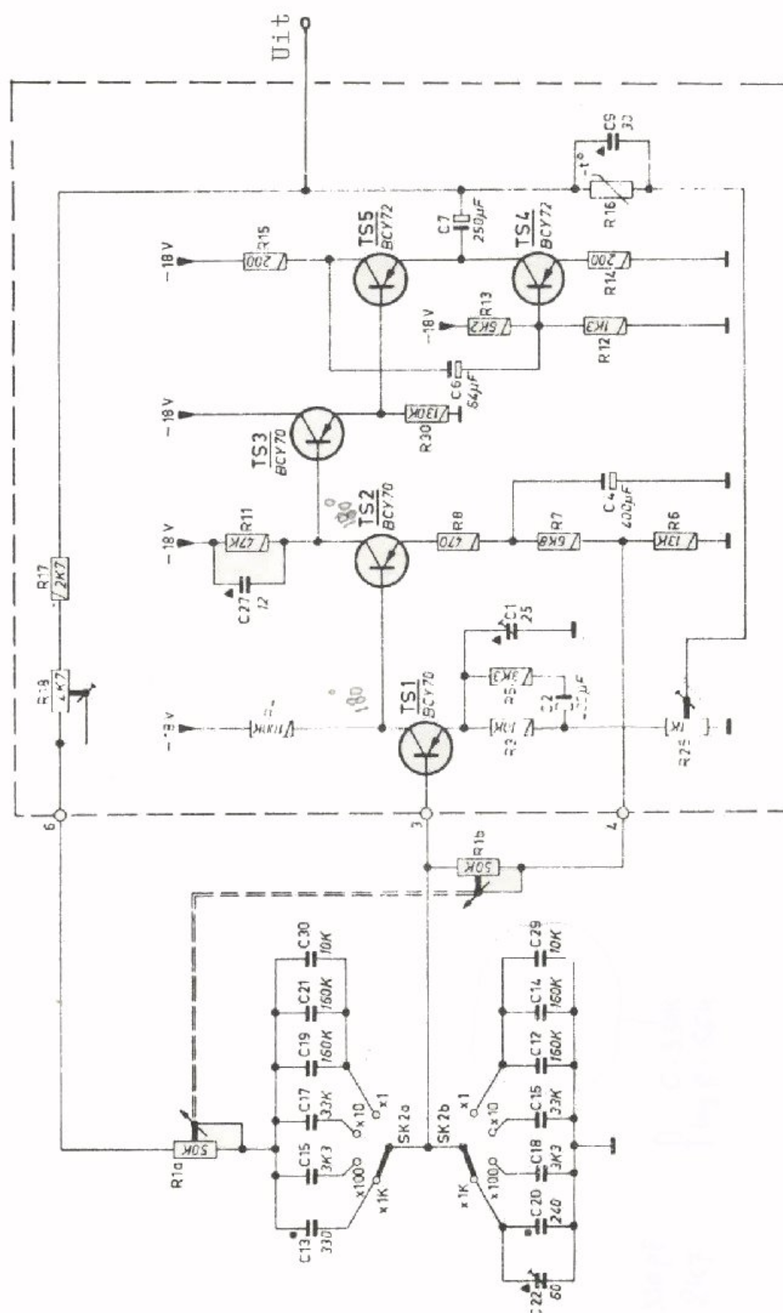
OEFENING

Bereken de frequentie van het Wienfilter van blok 8.

$f =$ [ ]

Vergelijk dit met het meetresultaat van de opdracht.

PRAKTISCH SCHEMA VAN EEN *RC*-OSCILLATOR MET EEN WIENFILTER





DE *RC*-OSCILLATOR VAN BLAD 17

- Bekijk eens rustig het schema van blad 17.

- Teken hiernaast het Wienfilter van deze oscillator in de stand "x10" van de stappenregelaar.

  Vermeld daarbij de volgnummers van de condensators en de weerstanden.

  Geef aan waar zich de ingang en de uitgang van het filter bevinden.

- De frequentie kan "in stappen" worden geregeld door telkens twee andere

  condensators/weerstanden te

  kiezen.

- Per frequentiegebied kan de frequentie "continu" worden geregeld door

  de waarde van [en] te veranderen.

- Wat is ongeveer de laagste frequentie die deze generator kan leveren?

  $f_{min} \approx$ [ ]

- Wat is ongeveer de hoogste frequentie die deze generator kan leveren?

  $f_{max} \approx$ [ ]

- De versterker bestaat uit 4 versterkertrappen. (TS4 en TS5 vormen samen één trap).

  De eerste twee trappen zijn schakelingen met gemeenschappelijke emitter. Deze twee trappen geven samen een fasedraaiing van

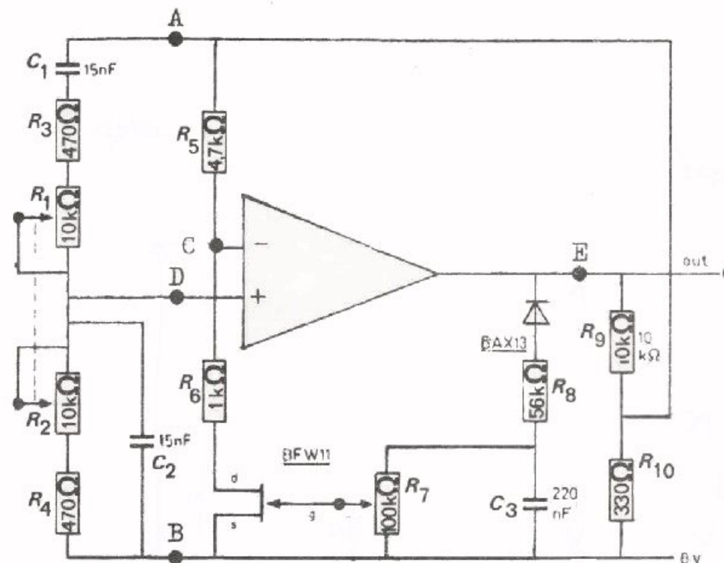
  [ ] graden

De 3e en 4e trap zijn schakelingen met gemeenschappelijke collector. (TS4 doet dienst als emitterweerstand van TS5). Deze twee trappen geven samen een fasedraaiing van [graden]

De totale fasedraaiing van de versterker is φ = [ ]

- De versterker, die slechts 3x behoeft te versterken, is tegengekoppeld via de NTC R_{16}. Deze NTC zorgt voor een constante uitgangsspanning en voor de begrenzing.
  Als de uitgangsspanning hoger wordt, wordt de NTC warmer. De weerstand neemt af waardoor de tegengekoppelde spanning toeneemt. De versterking wordt dan kleiner zodat de uitgangsspanning weer afneemt.

EEN *RC*-OSCILLATOR MET BEHULP VAN EEN OP-AMP



In deze oscillator wordt een operationele versterker toegepast. Hiervan weten we, dat:

- een spanning op de "+"-ingang een uitgangsspanning veroorzaakt die in *fase* is met de ingangsspanning.
- een spanning op de "-"-ingang een uitgangsspanning veroorzaakt die in *tegenfase* is met de ingangsspanning.

Om aan de oscilleervoorwaarde $\varphi = 0^0$ te komen, moet het Wienfilter op de "+"-ingang worden aangesloten. (Ga dit zelf na).

Om aan de andere oscilleervoorwaarde $A_u = 1$ te voldoen moet de versterker 3x versterken. Om dit te bereiken wordt de op-amp tegengekoppeld. Het tegengekoppelde signaal wordt aan de "-"-ingang toegevoerd.
De grootte van de tegengekoppelde spanning wordt bepaald door de spanninsdeler die gevormd wordt door R_5, R_6 en de weerstand tussen d en s van de BFW11. De waarde van deze weerstand is afhankelijk van de instelling van de FET. De instelling wordt geregeld m.b.v. potentiometer R_7, die gelijkspanning ontvangt van de diode BAX13. Deze is verbonden met de uitgangsspanning.

De gelijkrichter, gevormd door de componenten BAX13, R_8 en C_3 zorgt ook voor de begrenzing van de oscillator.
Als de uitgangsspanning *toeneemt*, wordt ook de gelijk-gerichte spanning groter. De diode is zo geschakeld dat de "gate" van de BFW11 negatiever wordt waardoor de drainstroom afneemt. De gelijkstroomweerstand tussen d en s ($R_{DS} = U_{DS}/I_D$) wordt dan groter, evenals de tegengekoppelde spanning. De versterking wordt kleiner, zodat de uitgangsspanning *afneemt*.
De oorspronkelijke toename van de uitgangsspanning wordt dus tegengewerkt.

Welke onderdelen in de schakeling van pag. 20 bepalen de oscilleerfrequentie?

R [ ]

C [ ]

- Wat is de hoogste en de laagste oscilleerfrequentie van deze oscillator?

f_{hoog} = [ ] f_{laag} = [ ]

- Bij de oscilleerfrequentie is de verzwakking van het Wienfilter

V_u = [ ]

Dus u_{db} = [ ] x u_{ab}

- Als we aannemen dat R_7 zo is ingesteld dat de FET een weerstand van 1 kΩ vertegenwoordigt, hoe groot is dan de spanning u_{cb} t.o.v. u_{ab}?

u_{cb} = [ ] x u_{ab}

- Het spanningsverschil tussen de "+" en "-"-ingang van de op-amp is dan:

$u_{cd} = u_{db} - u_{cb}$ = [ ] x u_{ab}

- Deze spanning wordt versterkt. De uitgangsspanning van de op-amp wordt:

$u_{eb} = A_u \cdot u_{cd}$, dus u_{eb} = A_u x ( ) x u_{ab}

- Een deel van u_{eb} wordt teruggevoerd naar de ingangen.

u_{ab} = [ ] x u_{eb}

- Uit deze laatste twee gegevens kan men berekenen hoeveel maal de op-amp zelf (zonder tegenkoppeling) moet versterken.

A_{u1} = [ ]

- De versterking (mét tegenkoppeling) is:

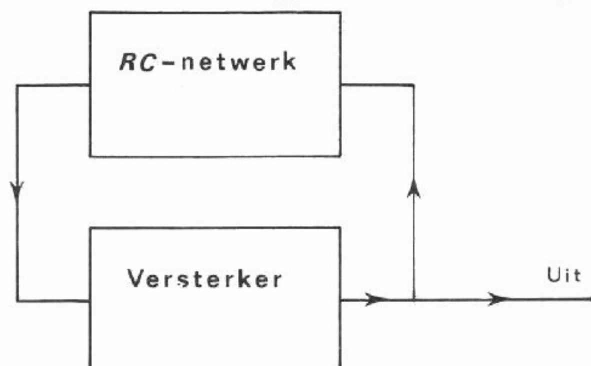
A_{u2} = [ ]

- Hoe groot is de tegenkoppelfactor?

F = [ ]

SAMENVATTING

- Een *RC*-oscillator bestaat uit een versterker waarvan het uitgangssignaal via een *RC*-netwerk wordt teruggevoerd naar de ingang.



- Slechts voor één frequentie is er geen fasedraaiing tussen het teruggevoerde signaal en het voorafgaande ingangssignaal van de versterker. Bij deze frequentie zal de schakeling gaan oscilleren, mits de rondgaande versterking hierbij gelijk is aan één. De versterker moet dus zóveel versterken dat de verzwakking van het *RC*-netwerk wordt gecompenseerd.

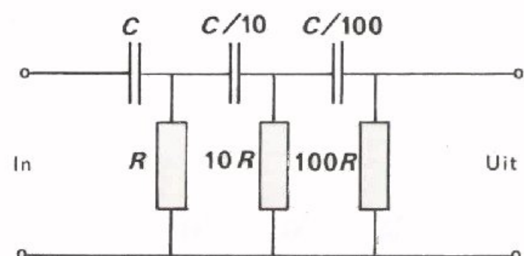
- Er bestaan *RC*-oscillators waarvan de versterker en het *RC*-netwerk elk 180^0 fasedraaiing geven. Dergelijke oscillators zijn meestal opgebouwd uit een ééntraps-versterker en een *RC*-netwerk met tenminste 3 *RC*-filters.

- Men maakt vaak gebruik van 3 achter elkaar geschakelde *RC*-filters die zodanig zijn samengesteld dat ze elkaar weinig of niet beïnvloeden. De frequentie waarbij dit netwerk 180^0 fasedraaiing geeft is ongeveer:

$$f \approx \frac{1}{1,7.2\pi.RC}$$

De verzwakking bij deze frequentie is bij benadering:

$$V_u \approx \frac{1}{8}$$



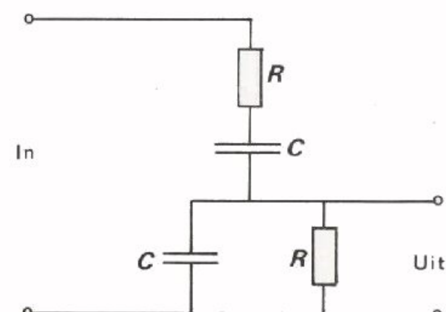
- Er zijn ook *RC*-oscillators waarvan de fasedraaiing van de versterker 360^0 is. Het *RC*-netwerk geeft dan bij de oscilleerfrequentie geen fasedraaiing. Dergelijke oscillators zijn dan meestal opgebouwd uit een meertraps-versterker. Het *RC*-netwerk is dan vaak een Wienfilter.

- De frequentie waarbij een Wienfilter geen fasedraaiing veroorzaakt is:

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

De verzwakking bij deze frequentie is:

$$V_u = \frac{1}{3}$$



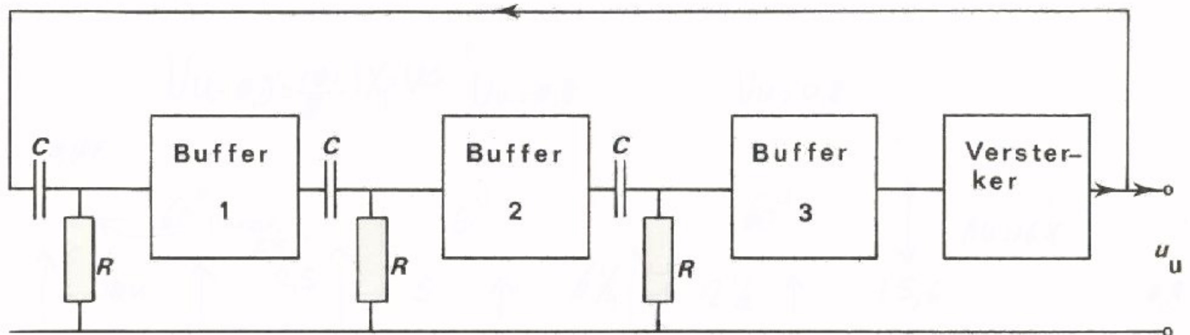
- Met *RC*-oscillators worden meestal *laag*-frequentie sinusvormige spanningen opgewekt (f < 100 kHz).

NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN

1. Hieronder is het principeschema van een *RC*-oscillator getekend.
   R = 10 kΩ; C = 0,1 μF; voor de drie buffertrappen geldt:
   V_u = 0,8 en $\varphi = 0^0$.



- Bereken de oscilleerfrequentie f =

- Hoeveel moet de versterker tenminste versterken?

  A_u =

- Hoe groot is de fasedraaiing van de versterker?

  φ =

2. *Vier* gelijke *RC*-filters van een *RC*-oscillator zijn zodanig achter elkaar geschakeld dat ze elkaar niet beïnvloeden
   R = 1 kΩ; C = 10 nF

   - Hoe groot is de fasedraaiing van elk filter?

     φ =

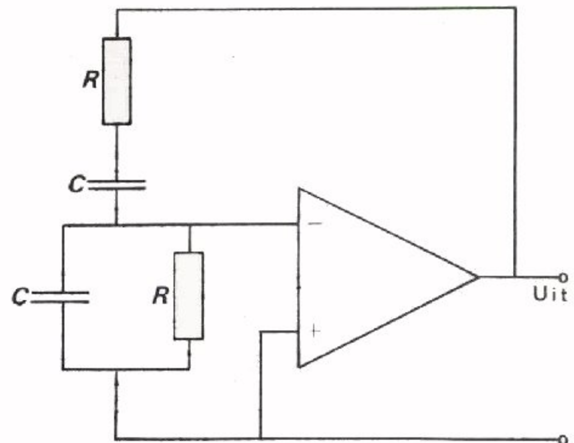
   - Wat is de oscilleerfrequentie?

     f =

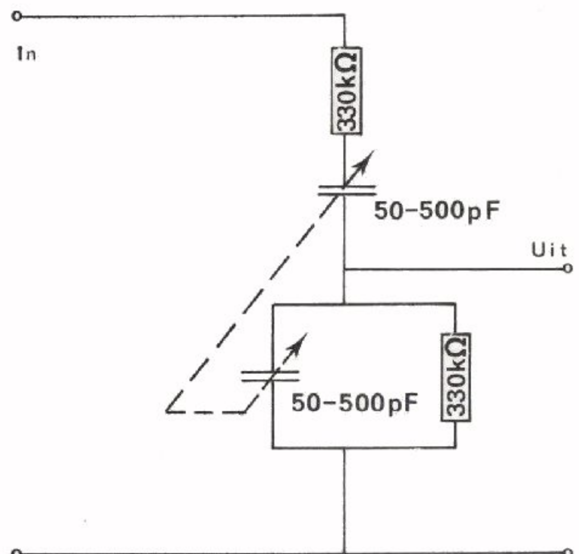
   - Bij deze frequentie is de verzwakking van het totale netwerk:

     V_u =

3. Waarom kan de hiernaast getekende *RC*-oscillator in principe niet oscilleren?



4. Het Wienfilter volgens bijgaande tekening bestaat uit twee vaste weerstanden van 330 kΩ en twee variabele draaicondensators. De condensators zijn op één as bevestigd. Bij draaiing van de as verandert de capaciteitswaarden van beide condensators evenveel.
C_{min} = 50 pF;
C_{max} = 500 pF.
Dit Wienfilter is een onderdeel van een *RC*-oscillator.



- Bereken de hoogste en de laagste oscilleerfrequentie.

f_{hoog} =

f_{laag} =

- Hoeveel versterkt de versterker?

A_u =

C 17

OSCILLATORSCHAKELINGEN III

ZAAGTANDOSCILLATORS

ENIGE BELANGRIJKE PUNTEN UIT DE VOORAFGAANDE LESSEN C15 EN C16

- Een oscillator is een elektronische schakeling waarmee elektrische signalen worden opgewekt.

- Een sinusoscillator bestaat uit een versterker waarvan de uitgangsspanning via een selecterend netwerk wordt teruggevoerd naar de ingang.

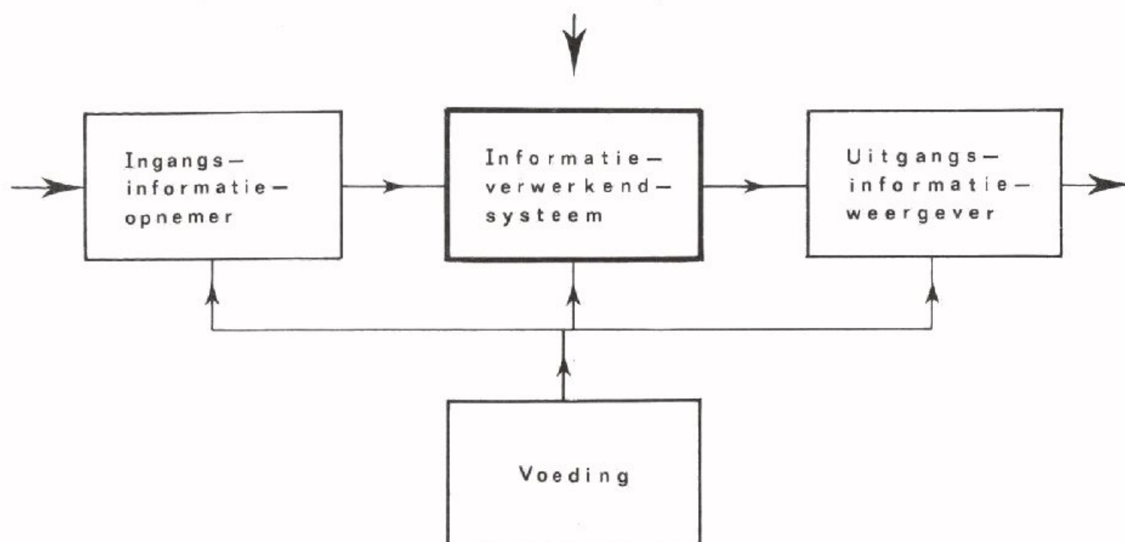
- Als het selectieve netwerk uit een *LC*-kring bestaat, noemt men de oscillator een *LC*-oscillator.
  De frequentie van de opgewekte wisselspanning wordt bepaald door de resonantie-frequentie van de *LC*-kring.
  Met *LC*-oscillators worden in hoofdzaak *hoogfrequente* signalen opgewekt (f > 100 kHz).

- Bij *RC*-oscillators bestaat het selecterende netwerk uit een *RC*-filter.
  De frequentie van de opgewekte wisselspanning wordt bepaald door de waarden van de toegepaste *R*'s en *C*'s.
  Met *RC*-oscillators worden voornamelijk *laagfrequente* signalen opgewekt (f < 100 kHz).

WAT WE IN DEZE LES GAAN DOEN?

Deze les wordt besteed aan oscillators waarmee *zaagtandvormige* signalen worden opgewekt.
Zaagtandvormige *spanningen* worden o.a. in oscilloscopen als X-spanning gebruikt. Zaagtandvormige *stromen* worden in TV-ontvangers toegepast om het beeld op te bouwen. Op beide toepassingen komen we in deze les nog terug.

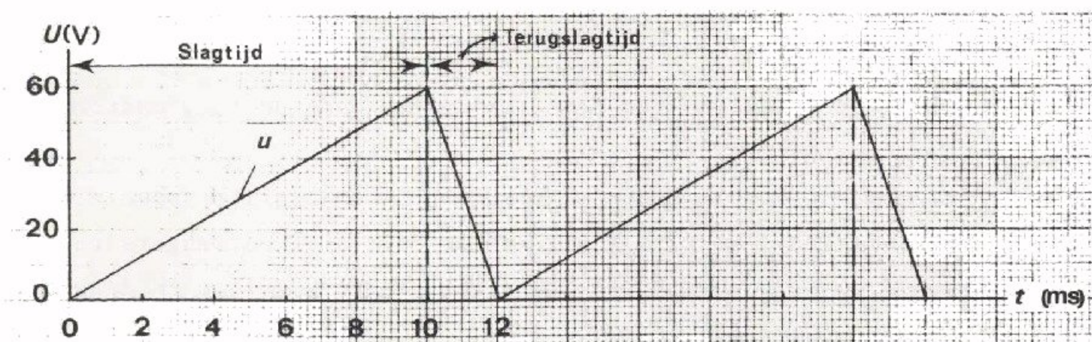
Zaagtandoscillators horen thuis bij het onderdeel informatie-verwerking.



ZAAGTANDSPANNINGEN; ZAAGTANDSTROMEN

In de analoge techniek wordt veelvuldig gebruik gemaakt van zowel zaagtand*spanningen* als van zaagtand*stromen*. (Op pagina 4 en 5 zullen we een paar toepassingen nader bekijken).

Men spreekt van een ideale zaagtandvormige spanning (stroom) als de spanning (resp. de stroom) per tijdseenheid steeds met eenzelfde bedrag verandert. In de volgende figuur is het verloop van een ideale zaagtandspanning afgebeeld.



De tijd tussen 0 en 10 ms noemt men de *slagtijd* van de zaagtandvormige spanning. Gedurende deze tijd neemt de spanning per ms met eenzelfde bedrag (6 V) *toe*.

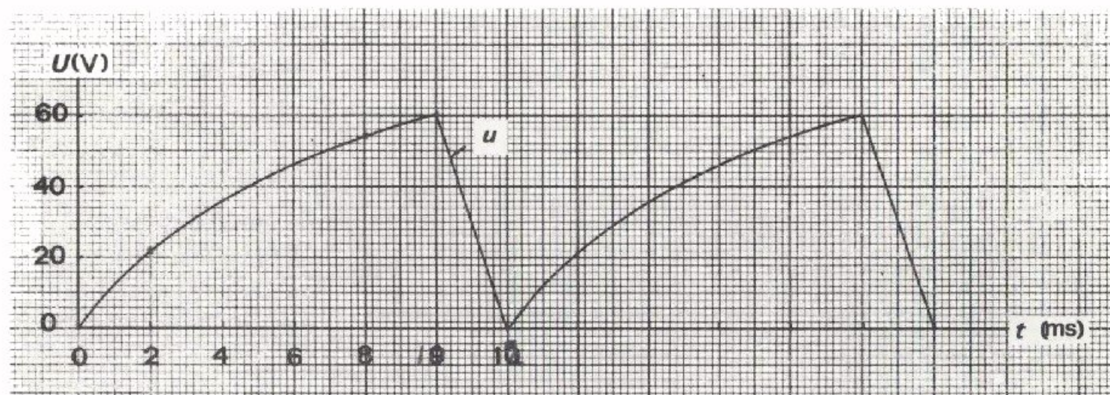
De tijd tussen 10 en 12 ms noemt men de *terugslagtijd*. Gedurende deze tijd neemt de spanning per ms met eenzelfde bedrag (30 V) *af*.

In de praktijk is het van belang dat de spanning (of de stroom) gedurende de slagtijd zo goed mogelijk *lineair met de tijd* verloopt. Het verloop gedurende de terugslag is meestal minder belangrijk.

De *afwijking* van het verloop van de zaagtandspanning (resp. stroom) t.o.v. het ideale verloop, geeft men weer met de uitdrukking: "*niet-lineariteit*

Aan de hand van een getallenvoorbeeld zullen we uitleggen wat men hiermee bedoeld.

Hieronder is een niet-ideale zaagtandspanning afgebeeld. De spanningsverandering aan het begin van de slagtijd is aanzienlijk groter dan aan het einde van de slagtijd.



Tussen 0 en 2 ms is de spanningsverandering: Δu_1 = [V]

Tussen 8 en 10 ms is de spanningsverandering: Δu_2 = [V]

De "*niet-lineariteit*" wordt tot uitdrukking gebracht met:

$$N = \frac{\Delta u_1 - \Delta u_2}{\Delta u_1} \times 100\ \%$$

In ons voorbeeld is de "niet-lineariteit" N = [%]

DE ZAAGTANDSPANNINGS-OSCILLATOR VAN EEN OSCILLOSCOOP

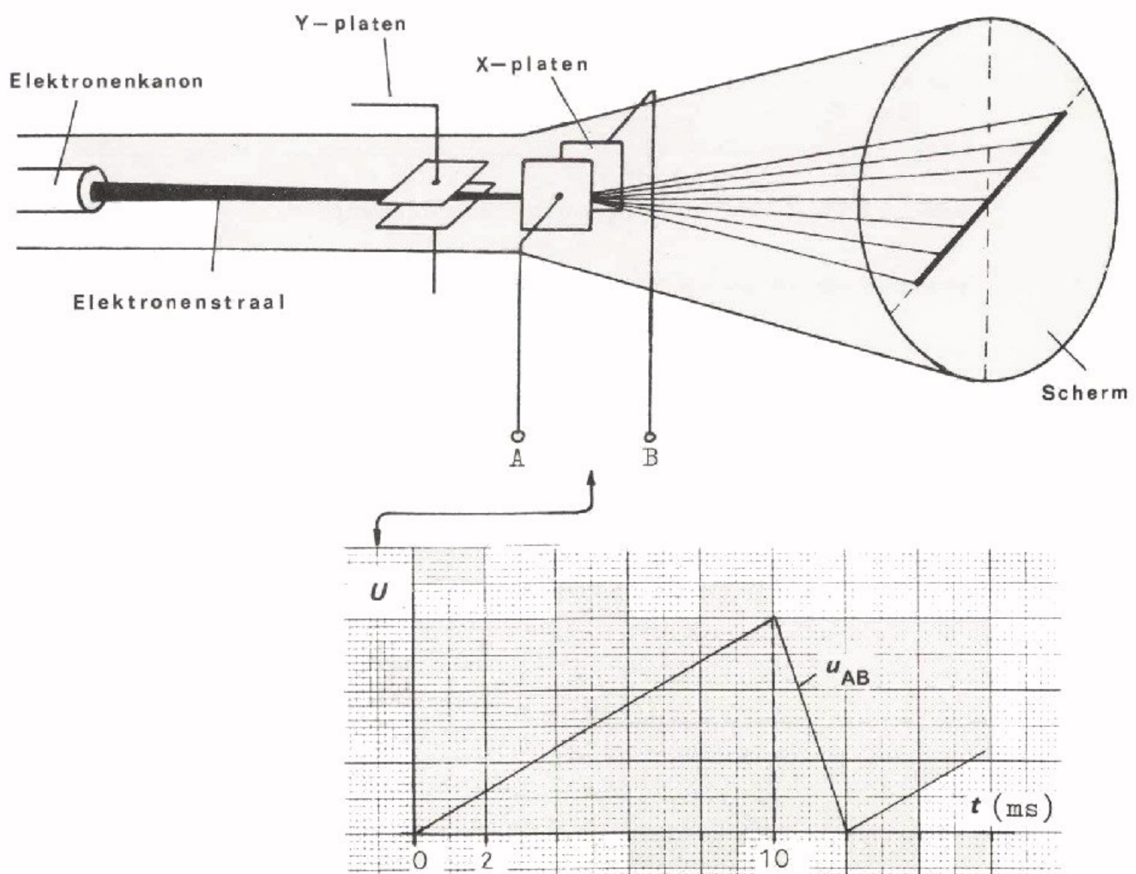
Een oscilloscoop is uitgerust met een zaagtand*spannings*-oscillator. De opgewekte spanning wordt tussen de X-afbuigplaten van de elektronenstraalbuis aangesloten (zie onderstaande figuur).

Onder invloed van de zaagtandspanning (u_{AB}) ontstaat een *elektrisch* veld tussen de platen. Vanaf t = 0 tot t = 10 ms (de slagtijd) wordt dit veld alsmaar sterker. Hierdoor wordt de elektronenstraal, die vanuit het elektronenkanon tussen de X-platen wordt "geschoten", met een *constante snelheid* van links naar rechts over het scherm verplaatst. Per ms legt de elektronenstraal eenzelfde horizontale afstand af. Als bij een slagtijd van 10 ms de totale afbuiging bijv. 5 cm. is, komt 1 cm. overeen met 2 ms.

Het scherm licht op bij die plaatsen waar elektronen het scherm treffen. Tengevolge van de traagheid van ons oog en de nalichtende eigenschappen van het schermmateriaal zien we dus gedurende de slagtijd een horizontale lijn. Als de zaagtandspanning lineair is, kan men langs deze lijn een lineaire tijdverdeling uitzetten. Men zegt dan ook dat de zaagtandspanning van een oscilloscoop dienst doet als *tijdbasis*. De zaagtandspannings-oscillator van een oscilloscoop noemt men ook wel: *tijdbasis*-oscillator.

Als men tussen de X-platen een zaagtandspanning aansluit en gelijktijdig tussen de Y-platen bijv. een sinusvormige spanning legt, dan zien we op het scherm *het verloop van de sinusspanning als functie van de tijd.*

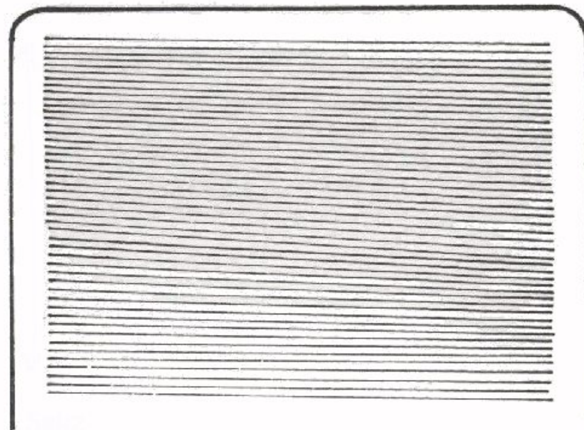
Opmerking: Gedurende de terugslagtijd wordt de elektronenstraal automatisch onderdrukt. Het scherm licht dan niet op.



ZAAGTANDSTROOM-OSCILLATOREN IN EEN TV-ONTVANGER

Het beeld van een TV-ontvanger wordt d.m.v. *twee* zaagtand*stromen* opgebouwd. Dit gaat als volgt in zijn werk.

Een zaagtandstroom met een lage frequentie (bijv. 50 Hz) wordt toegevoerd aan het verticale afbuigcircuit van de beeldbuis. Er ontstaat een *magnetisch* veld tussen de spoelen, dat tijdens de slagtijd alsmaar *sterker* wordt. Als gevolg hiervan wordt de elektronenstraal met een *constante snelheid* van boven naar beneden over het scherm verplaatst.



Gelijktijdig wordt een andere zaagtandstroom met een veel hogere frequentie- (bijv. 15 000 Hz) aan het horizontale afbuigcircuit toegevoerd. Het gevolg hiervan is dat de elektronenstraal niet alleen "langzaam" van boven naar beneden wordt bewogen, maar tevens "snel" van links naar rechts.

Aldus ontstaat op het scherm een lijnenpatroon zoals hierbij wordt afgebeeld. Het schrijven gaat zo snel, en de lijnen liggen zo dicht bij elkaar, dat ons oog één lichtend oppervlak ziet. Ook hier wordt tijdens de terugslag van de zaagtandstromen, de elektronenstraal onderdrukt.

OEFENING

Bij het TV-systeem dat in de meeste West-Europese landen wordt toegepast is de frequentie van de verticale afbuigstroom 50 Hz en die van de horizontale afbuigstroom 15625 Hz.

In hoeveel tijd gaat de elektronenstraal van boven naar beneden?

t = ____ ms

Hoeveel horizontale lijnen worden er gedurende die tijd geschreven?

Aantal lijnen: ____

Als de afstand tussen de lijnen niet overal even groot is, wat mankeert er dan aan welke zaagtandstroom?

Als de lijnen niet recht zijn, wat mankeert er dan aan welke zaagtandstroom?

HET OPWEKKEN VAN ZAAGTANDSTROMEN

Uit de elektriciteitsleer weten we dat de stroom door een spoel lineair met de tijd toeneemt zolang de spanning over de spoel constant gehouden wordt.

immers: $$i_L = \frac{U_L \times t}{L}$$

OEFENING

Stel dat over een spoel van 1 H een constante spanning van 5 V is aangesloten. Bereken dan de stroom door de spoel op diverse tijdstippen.

Vul deze tabel in.

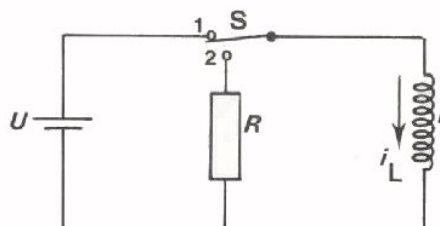
t (ms)	i_L (mA)
0	
1	
2	
3	
4	
5	

Zet de resultaten uit in een grafiek.



In de volgende figuur is het principe-schema van een praktische zaagtandstroom-oscillator afgebeeld.

Als de schakelaar S in stand 1 staat, neemt de stroom door de spoel lineair met de tijd toe (slagtijd).
Als de schakelaar in stand 2 staat, wordt i_L via R naar nul teruggebracht (terugslagtijd).



De schakelingen die in de praktijk worden gebruikt zijn veel ingewikkelder dan hiernaast geschetst.

- Voor S gebruikt men een elektronische schakelaar (bijv. een transistor in geleidende resp. niet-geleidende toestand).
- Men moet voorzieningen treffen om de spanning U constant te houden. Immers elke spanningsbron heeft een zekere R_i, waarover meer spanning valt naarmate de afgenomen stroom groter wordt.
- Bij het onderbreken van de stroom door een spoel ontstaan hoge piekspanningen. Een praktische schakeling moet dit kunnen verwerken.

HET OPWEKKEN VAN ZAAGTANDSPANNINGEN

Als men een condensator met een constante stroom laadt, ontstaat er over de condensator een lineair met de tijd verlopende spanning. (Op het volgende blad zullen we dit door meting ervaren).

immers: $$u_C = \frac{I_C \times t}{C}$$

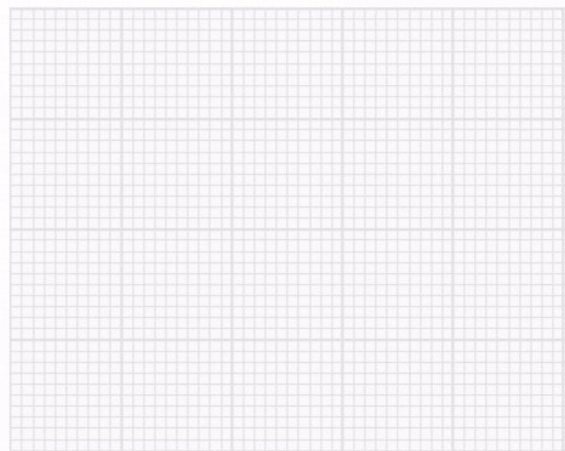
OEFENING

Stel dat een condensator van 1 µF wordt geladen met een constante stroom van 2 mA. Bereken dan de spanning over de condensator op diverse tijdstippen.

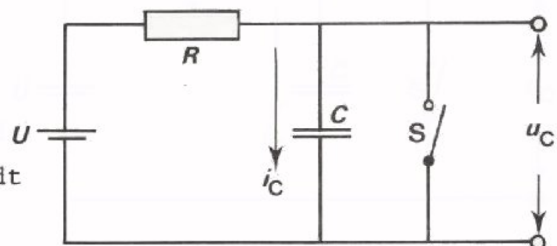
Vul deze tabel in.

t (ms)	u_C (V)
0	0
1	2
2	4
3	6
4	8
5	10

Zet de resultaten uit in een grafiek.



In de volgende figuur is het principe-schema van een praktische zaagtand-spannings-oscillator afgebeeld.

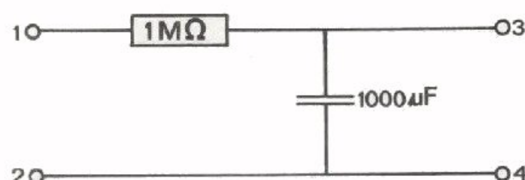


De weerstand R is zo groot dat de laadstroom I_C nagenoeg constant blijft, gelijk aan U/R.
Als de schakelaar S open staat, wordt de condensator met een constante stroom geladen. De spanning op C neemt lineair met de tijd toe (slagtijd).
Bij gesloten schakelaar wordt de condensator snel ontladen (terugslagtijd).
De opbouw van in de praktijk gebruike schakelingen is meestal wel wat ingewikkelder.

- Voor S gebruikt men een elektronische schakelaar. (In één van onze volgende meetopdrachten zullen we zo'n schakelaar beproeven).
- Om een zaagtandspanning met een goede lineariteit te verkrijgen, moet de laadstroom uiterst constant blijven. Dit is met een gewone weerstand R niet te bereiken. We zullen in het verdere verloop van deze les nog zien, hoe het wel kan.

OPDRACHT: HET LADEN VAN EEN CONDENSATOR MET EEN CONSTANTE STROOM

- Monteer de volgende schakeling op uw paneel.



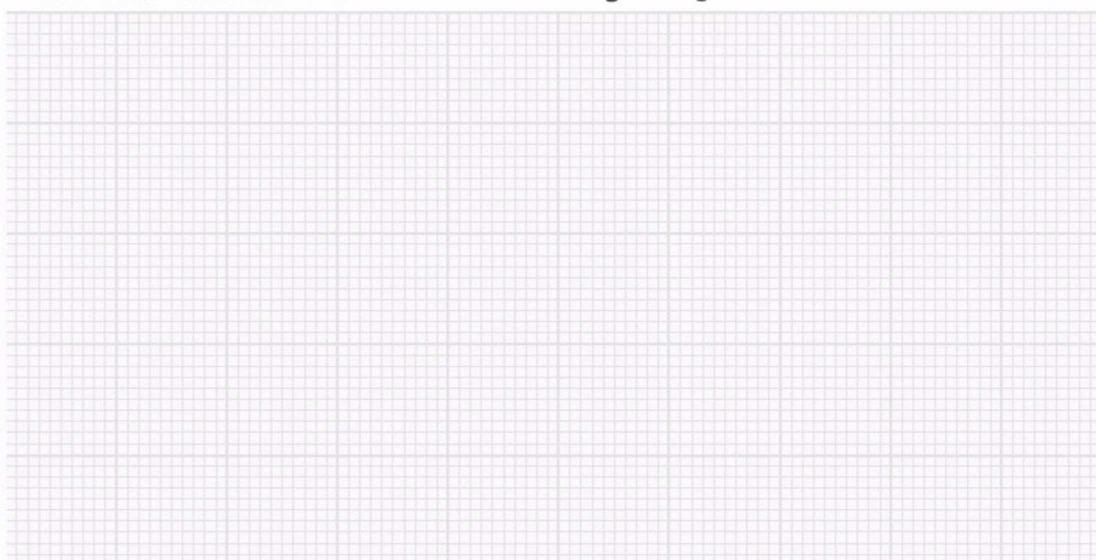
- Plaats over de condensator een voltmeter. Schakel deze in het 1 V-meetbereik. In deze stand moet de R_i tenminste 10 MΩ zijn.

- Sluit de condensator even kort om er zeker van te zijn dat deze geheel ontladen is.

- We gaan nu de spanning op de condensator als functie van de tijd opnemen. De tijd wordt op uw horloge afgelezen. We gaan als volgt te werk: Leg een gelijkspanning van 10 V tussen de punten 1 en 2 (de "+"-kant aan punt 1). Vanaf dit moment de tijd opnemen waarop u_C achtereenvolgens 0,2 V, 0,4 V, 0,6 V, 0,8 V en 1 V is. Vul de volgende tabel in.

u_C =	0,2 V	0,4 V	0,6 V	0,8 V	1 V
t =	s	s	s	s	s

Zet deze meetresultaten uit in de volgende grafiek.

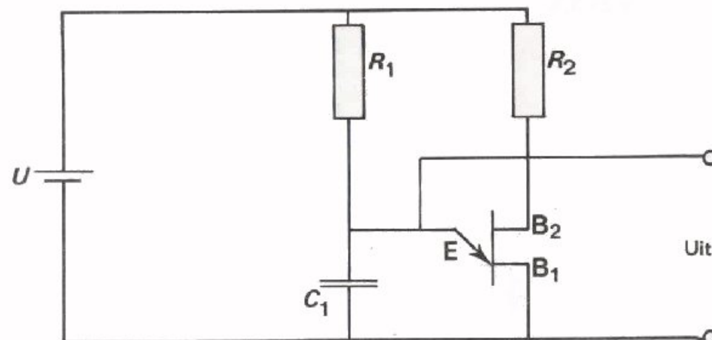


- Breek de schakeling af.

EEN PRAKTISCHE ZAAGTANDSPANNINGS-OSCILLATOR

Hieronder is een praktische zaagtandspannings-oscillator afgebeeld. De schakeling lijkt veel op het principe-schema van blad 8. Als schakelaar gebruiken we een unijunction transistor (U.J.T.).

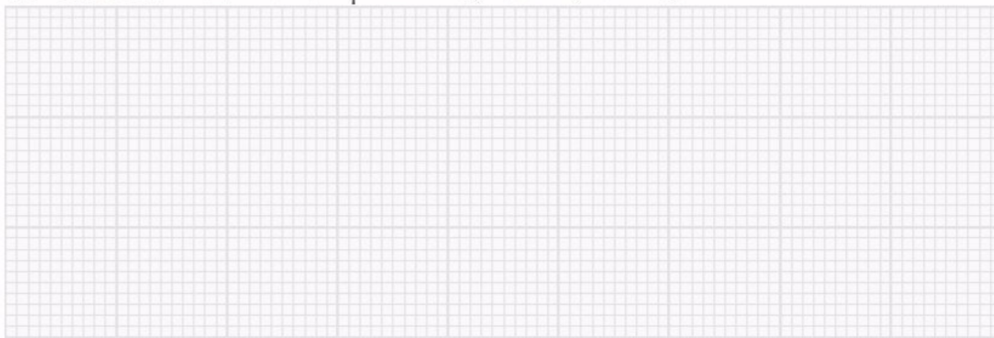
Een U.J.T. is een component met drie aansluitingen: nl. de emitter (E), de basis 1 (B_1) en de basis 2 (B_2). Basis 2 wordt met de "+" en B_1 met de "-" van de voedingsspanning U verbonden. Zolang de u_{EB1} beneden een bepaalde waarde blijft ($\approx$ 0,7 U_{B1B2}), is de weerstand tussen E en B_1 zeer hoog. Wanneer evenwel u_{EB1} boven die bepaalde waarde komt, wordt plotseling de EB_1-overgang geleidend. Er vloeit dan een grote stroom van de emitter naar B_1. Als vervolgens u_{EB1} verlaagd wordt tot ca. 2 V, dan wordt plotseling de EB_1-overgang weer hoogohmig.



De werking van de zaagtandspannings-oscillator.

De condensator C_1 wordt via R_1 geladen. Wanneer u_C de waarde bereikt van ca. 0,7 U_{B1B2}, zal de emitter in geleiding komen, waardoor de condensator ontlaadt. Nadat C_1 zover is ontladen dat de EB_1-overgang wordt gesperd ($\approx$ 2 V), zal het laden weer beginnen, enz.

Er ontstaat dan over C_1 de volgende spanning:



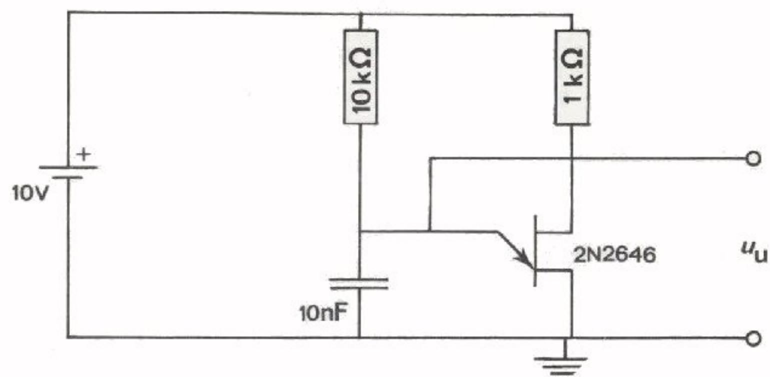
Op het volgende blad gaan we deze oscillator uitproberen.

OEFENING

In bovenstaande schakeling is de U.J.T. geleidend gedurende de tijd dat u_C **toeneemt / afneemt**

OPDRACHT: HET METEN AAN EEN ZAAGTANDSPANNINGS-OSCILLATOR

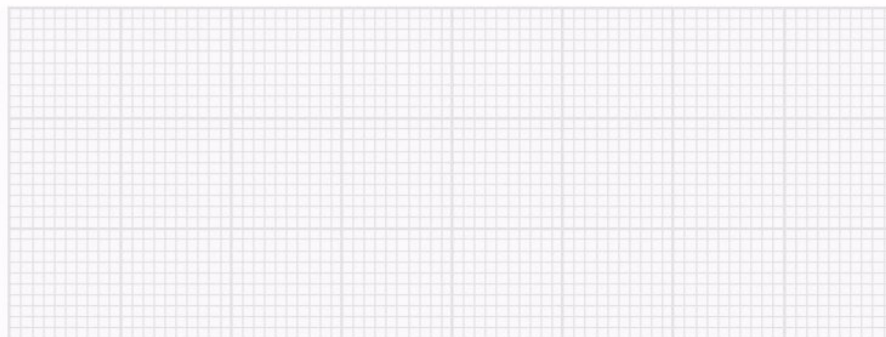
- Monteer de volgende schakeling op uw paneel.



- Sluit een voedingsspanning van 10 V aan.

- Meet m.b.v. een oscilloscoop de uitgangsspanning van de oscillator.

  Schets hieronder het verloop van de uitgangsspanning.



Het verloop van de spanning gedurende de slagtijd is

lineair / niet-lineair

- Bepaal de frequentie van de zaagtandspanning.

f = [   ] kHz

- Hoe groot is de top-tot-top-waarde van de zaagtandspanning?

U_{tt} = [   ] V

- Schakel de voedingsspanning uit.

HET OPWEKKEN VAN EEN LINEAIRE ZAAGTANDSPANNING

Bij de opdracht van pagina 9 hebben we gezien dat de spanning op een condensator lineair met de tijd verloopt als deze wordt geladen met een *constante* stroom.
Bij de opdracht van pagina 11 was de laadstroom *niet* constant; de opgewekte zaagtandspanning bleek dan ook niet-lineair te zijn.

We gaan nu een zaagtandspannings-oscillator bespreken, die wél lineaire zaagtandspanningen opwekt.
We gaan uit van de oscillator van pagina 11. Het laden van condensator C gaan we nu tot stand brengen via een veldeffect-transistor (zie fig. a).
De weerstand R_1 zorgt voor de gelijkstroominstelling van de FET.
Dat we m.b.v. deze schakeling een *constante* laadstroom verkrijgen zullen we duidelijk maken aan de hand van de I_D-U_{DS}-karakteristieken van de FET (zie fig. b). Het laden van condensator C gebeurt m.b.v. de drainstroom I_D van de FET. Tijdens het laden wordt de spanning over de FET alsmaar kleiner omdat U_C toeneemt. (Ga dit zelf na). Uit de afgebeelde karakteristieken (fig. b) kan men evenwel zien dat I_D desondanks een constante waarde houdt, zolang U_{DS} boven de kniespanning U_K blijft.
U_K bij lage I_D-waarden is ca. 1 V.

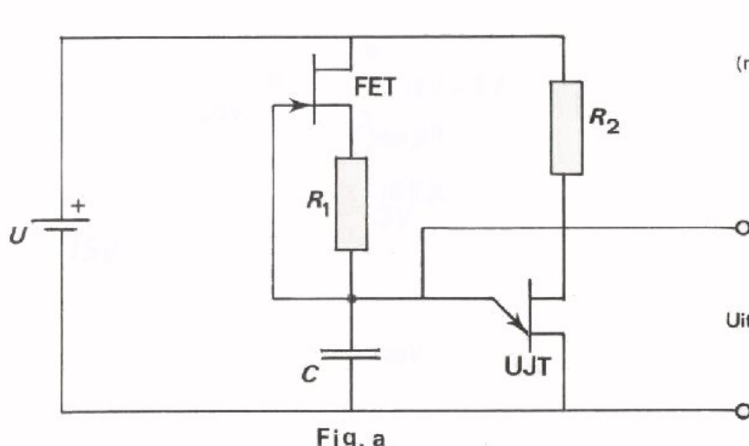


Fig. a

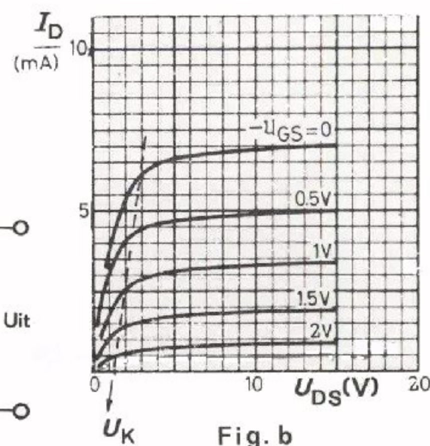


Fig. b

OEFENING

Veronderstel dat in bovenstaande schakeling R_1 = 10 kΩ, en dat bij deze waarde I_D = 0,3 mA.
Stel verder dat de voedingsspanning U = 15 V, en dat de U.J.T. in geleiding komt bij U_{EB1} = 10 V.
Hoeveel spanning staat er dan maximaal over de FET?

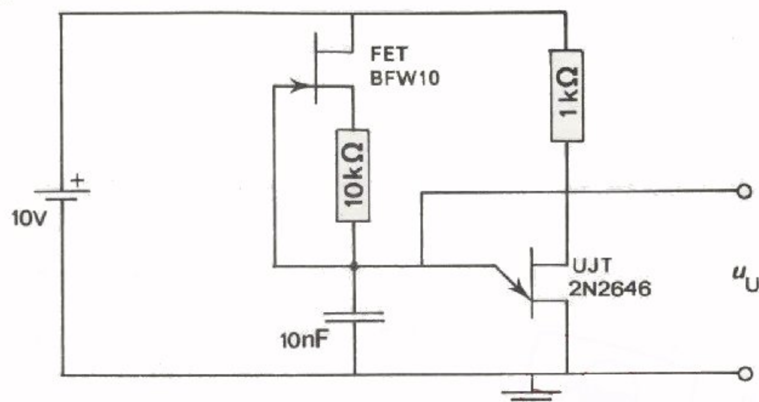
U_{DS} (max) = [ ] V

Hoeveel spanning staat er minimaal over de FET?

U_{DS} (min) = [ ] V

OPDRACHT: HET METEN AAN EEN LINEAIRE ZAAGTANDSPANNING

- Breid de oscillator op uw paneel uit met een FET, zodat de volgende schakeling ontstaat.



- Schakel de voedingsspanning van 10 V in.

- Meet met een oscilloscoop de uitgangsspanning van de oscillator.

Schets hieronder het verloop van de uitgangsspanning.



Het verloop van u_U gedurende de slagtijd is

nagenoeg lineair / niet-lineair

- Bepaal de frequentie van de zaagtandspanning.

f = [kHz]

- Hoe groot is de top-tot-topwaarde van de spanning?

U_{tt} = [V]

- Breek de schakeling nog niet af.
  Schakel wel de voedingsspanning uit.

KORTE SAMENVATTING VAN HET VOORGAANDE

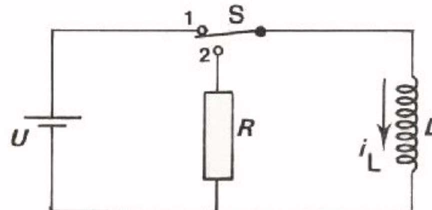
- In de analoge techniek wordt veelvuldig gebruik gemaakt van zowel zaagtand*spanningen* als van zaagtand*stromen*.

- Als men over een spoel een *constante* spanning aansluit, verloopt de *stroom* door die spoel lineair met de tijd.

  Principe-schema van een zaagtand*stroom*-oscillator.

  S in stand 1: slagtijd

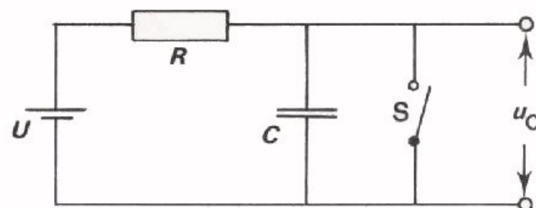
  S in stand 2: terugslagtijd.



- Als men een condensator laadt met een *constante* stroom, verloopt de *spanning* over die condensator lineair met de tijd.

  S open: slagtijd

  S gesloten: terugslagtijd



- In praktische schakelingen gebruikt men voor S een *elektronische* schakelaar; bijv. een unijunction transistor.

OEFENING

Bereken van deze zaagtandspanning de volgende eigenschappen:

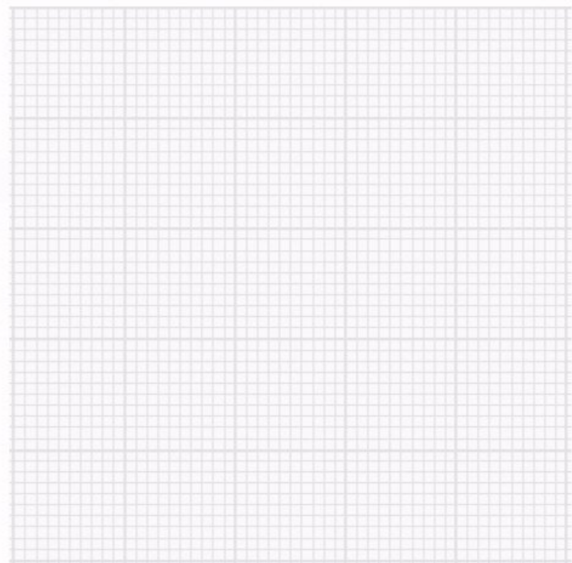
U_{tt} = [ ] V

U_{gem} = [ ] V

slagtijd = [ ] µs

terugslagtijd = [ ] µs

frequentie = [ ] MHz



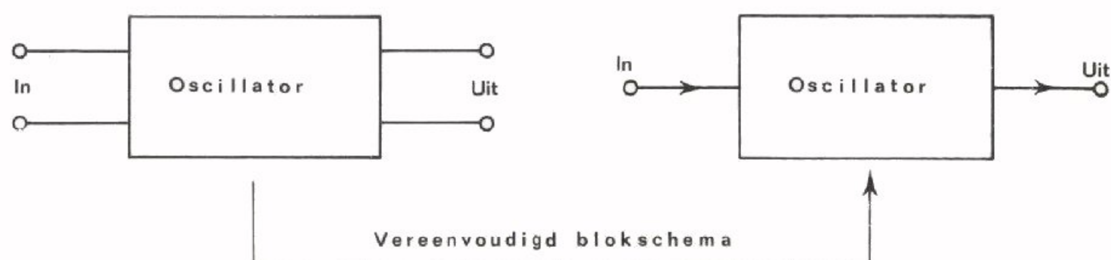
TRIGGEREN EN SYNCHRONISEREN

Als we een oscilloscoop gebruiken om het verloop van een elektrische spanning zichtbaar te maken, gaan we als volgt te werk,
De betreffende spanning wordt aan het Y-kanaal van de oscilloscoop gelegd, en gelijktijdig wordt het X-kanaal verbonden met de ingebouwde zaagtandspanningsoscillator. Als echter de periode-tijd van de Y-spanning bijv. 1 ms is en die van de zaagtandspanning bijv. 1,001 ms, dan staat de afbeelding niet stil, maar "loopt over het scherm". Om een *stilstaande* afbeelding te verkrijgen moet de periode-tijd van de X-spanning precies gelijk zijn (of precies een veelvoud zijn) van de periode-tijd van de Y-spanning. In een oscilloscoop zijn voorzieningen getroffen waardoor de zaagtandspanning automatisch "*in de pas gaat lopen*" met de Y-spanning.

Niet alleen in de oscillografie, maar ook in vele andere takken van de elektronica komt het nogal eens voor, dat het in een oscillator opgewekte signaal A moet *samenlopen* met een signaal B. Dit kan worden verwezenlijkt, door met signaal B de frequentie van signaal A te beïnvloeden.
Het beïnvloeden van de frequentie van een oscillatorsignaal met een ander signaal kan op twee manieren tot stand komen;
methode 1: *triggeren*
methode 2: *synchroniseren*
Op het volgende blad wordt het verschil tussen deze methoden uitgelegd.

BLOKSCHEMA

Hieronder is het blokschema van een getriggerde of gesynchroniseerde oscillator weergegeven.



Een getriggerde of een gesynchroniseerde oscillator kan men voorstellen door een blok met een uitgang én een ingang.
Aan de ingang wordt het signaal toegevoerd waarmee de oscillator wordt getriggerd of gesynchroniseerd.
Aan de uitgang komt het in de oscillator opgewekte signaal beschikbaar.
De periode-tijd van deze spanning is gelijk aan- (of een veelvoud van-) de periode-tijd van het ingangssignaal.

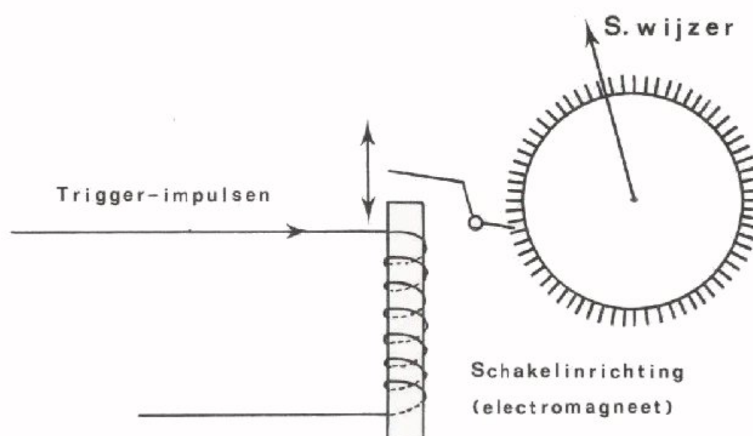
HET VERSCHIL TUSSEN TRIGGEREN EN SYNCHRONISEREN

Het verschil tussen triggeren en synchroniseren zullen we uitleggen aan de hand van een praktisch voorbeeld.

In een fabriek moeten de klokken van de diverse afdelingen *gelijklopen* met een moederklok. De moederklok is een nauwkeurig uurwerk, dat bijv. iedere seconde een impuls afgeeft. Met behulp van deze impulsen worden de afdelingsklokken getriggerd of gesynchroniseerd.

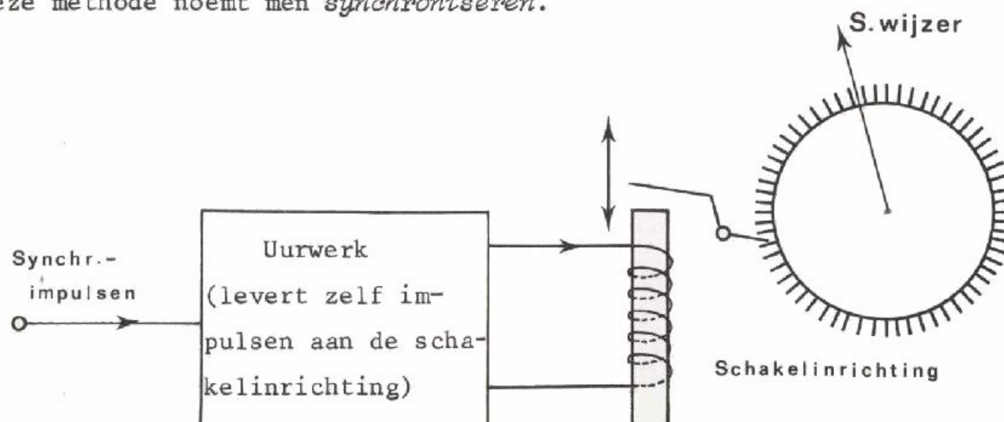
DE TRIGGER-METHODE

Als de trigger-methode wordt toegepast, hebben de afdelingsklokken zelf *geen uurwerk* maar uitsluitend een schakelinrichting die op de impulsen van de moederklok reageert. Iedere seconde wordt de schakelinrichting door middel van een impuls *in werking gesteld*. De secondewijzer van de afdelingsklokken gaat dan één stap verder. Deze manier van werken noemt men *triggeren*.



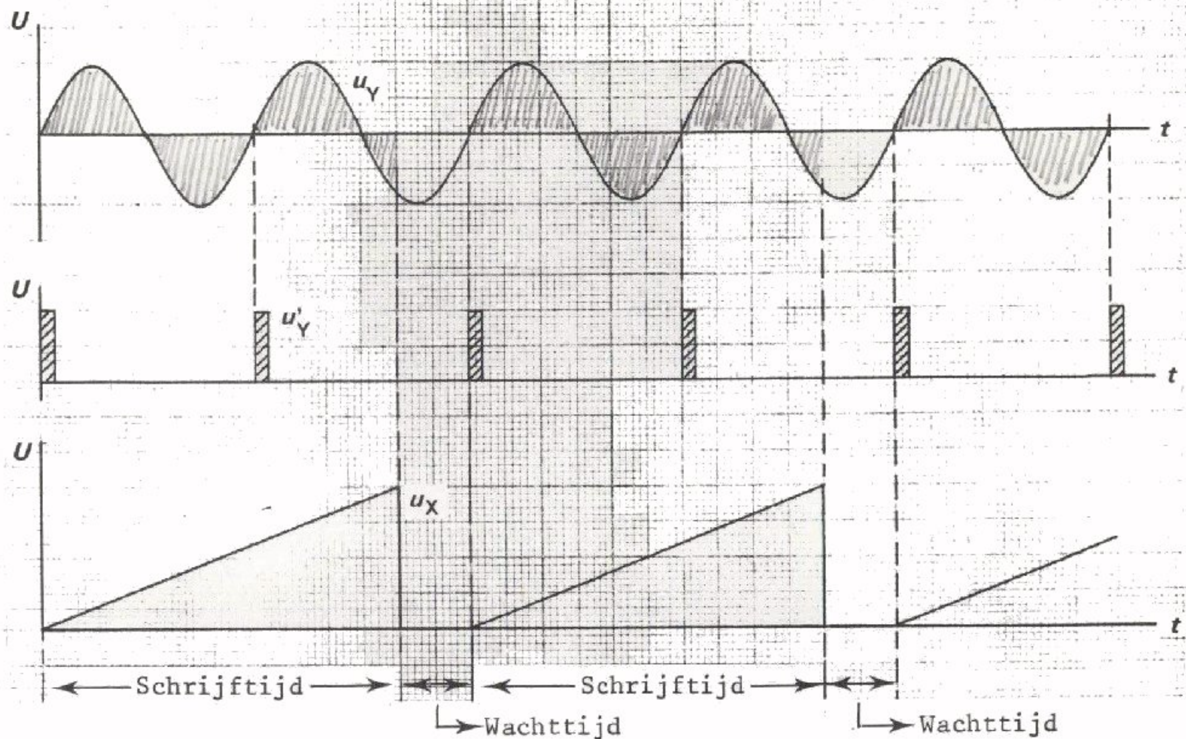
DE SYNCHRONISATIE-METHODE

Als de synchronisatie-methode wordt toegepast, hebben de afdelingsklokken wél een *eigen uurwerk* en geven dus ook zonder de moederklok een eigen tijd aan. De verschillen in tijdsaanduiding die onvermijdelijk tussen de afdelingsklokken optreden worden *gecorrigeerd* met behulp van de impulsen van de moederklok. Deze impulsen beïnvloeden het uurwerk van iedere afdelingsklok zodanig dat verschillen in tijdsaanduiding niet kunnen voorkomen. Deze methode noemt men *synchroniseren*.



TRIGGEREN IN DE OSCILLOSCOPIE

In moderne oscilloscopen verkrijgt men *stilstaande* afbeeldingen d.m.v. de *trigger*-methode. Op deze pagina zullen we nagaan hoe de gelijkloop tussen het Y-signaal en de X-zaagtandspanning tot stand komt. Dit doen we aan de hand van de volgende tijddiagrammen.



De af te beelden spanning is u_y. Deze is sinusvormig en wordt aan het Y-kanaal van de oscilloscoop gelegd.
u'_y zijn impulsen die in de oscilloscoop zijn afgeleid van u_y. (Hoe men van sinusvormige spanningen impulsen maakt, wordt in het vervolg van deze cursus, bij de functie "omvormen" behandeld). Met behulp van deze impulsen wordt de zaagtandspannings-oscillator getriggerd. Impulsen met steile flanken zijn bijzonder geschikt.
De zaagtandspannings-oscillator wordt *gestart* met de triggerimpulsen.
Er wordt dan *één* volledige zaagtandspanning (u_X) opgewekt, waarbij de elektronenstraal *eenmaal* van links naar rechts over het scherm schrijft. Hierna stopt de oscillator automatisch en wacht op de eerstvolgende trigger-impuls om opnieuw te starten, enz.
Gedurende het opwekken van de zaagtandspanning is de oscillator ongevoelig voor trigger-impulsen. De 2e, 4e en 6e impuls van onze tekening hebben dus geen invloed op de werking van de oscillator.
We zien nu dat de horizontale afbuigspanning u_X is "vergrendeld" met de te meten spanning u_y. De X-afbuiging begint iedere keer op de momenten dat u_y met de opgaande flank door "0" gaat. Er ontstaat dus een *stilstaande* afbeelding op het scherm van de oscilloscoop.

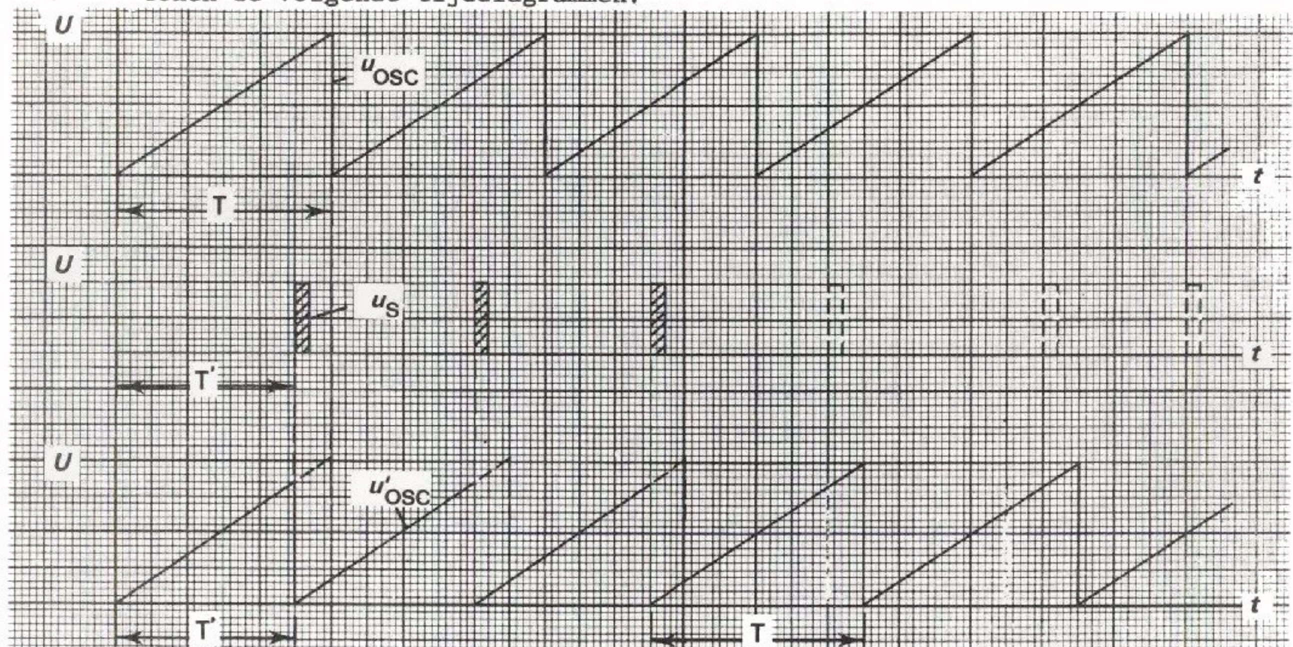
OEFENING

Geef in bovenstaande tekening met gekleurd potlood aan welk deel van u_y op het scherm wordt afgebeeld.

HET SYNCHRONISEREN VAN EEN ZAAGTANDSPANNINGS-OSCILLATOR

We hebben gezien dat getriggerde oscillators ophouden met oscilleren als er geen trigger-impulsen worden toegevoerd. Oscillators met *synchronisatie* blijven wél oscilleren als de sturing met synchronisatie-impulsen wordt onderbroken. In dit geval wordt de frequentie van de opgewekte spanning uitsluitend bepaald door de opbouw van de oscillator zelf; de oscillator werkt in zijn eigen tempo.

Hoe de gelijkloop tot stand komt tussen het opgewekte signaal van een zaagtandspannings-oscillator en de daaraan toegevoerde synchronisatie-impulsen, tonen de volgende tijddiagrammen.



u_{OSC} is de zaagtandspanning die door de oscillator *uit zich zelf* wordt opgewekt zonder sturing met synchronisatie-impulsen. De periode-tijd is T.

u_S zijn de synchronisatie-impulsen die aan de oscillator worden toegevoerd. De periode-tijd is T'.

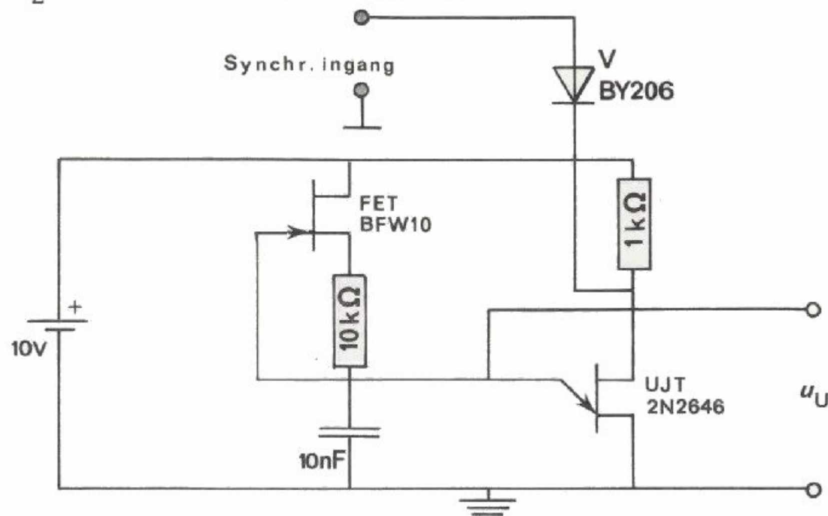
u'_{OSC} is de zaagtandspanning die *onder invloed* van de synchronisatie-impulsen ontstaat. We zien dat bij iedere voorflank van een impuls de oscillator wordt gedwongen de slagtijd van de zaagtandspanning waarmee hij bezig is te beëindigen. Er ontstaat in dit geval een zaagtandspanning waarvan de periode-tijd precies gelijk is aan de periode-tijd van de synchronisatie-impulsen. Het is ook mogelijk de oscillator zodanig te synchroniseren dat de periode-tijd van de opgewekte spanning gelijk wordt aan 2x of 3x de periode-tijd van de impulsen.

Indien door één of andere oorzaak een aantal impulsen wegvalt (in het tijddiagram gestippeld getekend) gaat de oscillator weer in zijn eigen tempo oscilleren.

Op het volgende blad gaan we de zaagtandspannings-oscillator van de vorige opdracht synchroniseren.

OPDRACHT: HET METEN AAN EEN GESYNCHRONISEERDE ZAAGTANDSPANNINGS-OSCILLATOR

- Breid de oscillator van de vorige opdracht uit met een synchronisatie-ingang. Deze bestaat uit een diode V waarvan de kathode wordt verbonden met B_2 van de U.J.T. (zie figuur).



- Schakel de voedingsspanning van 10 V in.
- Meet met een oscilloscoop de frequentie van de uitgangsspanning van de oscillator.

$f \approx$ [kHz]

- Leg een sinusvormige spanning van tenminste 10 V aan de synchronisatie-ingang. Leg de frequentie in de buurt van de zaagtand-frequentie. (De diode V maakt van de sinusvormige spanning een impulsvormige spanning).
- Gebruik dezelfde sinusvormige spanning om de oscilloscoop extern te triggeren.



- Als we nu een *stilstaand* oscillogram verkrijgen dan betekent dit, dat de frequentie van de zaagtandspanning exact gelijk is aan die van het synchronisatie-signaal.
- Als het oscillogram beweegt, moeten we de frequentie van de sinusspanning iets hoger of lager maken tot een stabiele synchronisatie wordt verkregen.

- Bepaal tussen welke frequenties de synchronisatie stand houdt. (Dit frequentie-gebied noemt men het *houdgebied* van de synchronisatie). Hoe breed is het houdgebied?

Houdgebied = [Hz]

SAMENVATTING

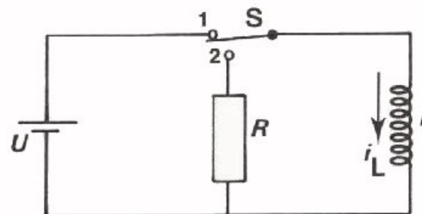
- In de analoge techniek wordt veelvuldig gebruik gemaakt van zowel zaagtand*spanningen* als van zaagtand*stromen*.

- Als men over een spoel een *constante* spanning aansluit, verloopt de *stroom* door die spoel lineair met de tijd.

  Principe-schema van een zaagtand*stroom*-oscillator.

  S in stand 1: slagtijd

  S in stand 2: terugslagtijd

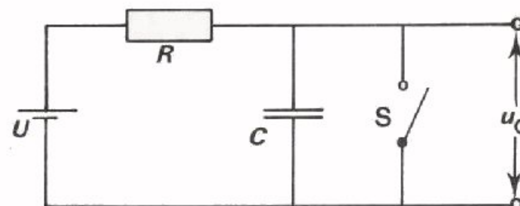


- Als men een condensator laadt met een *constante* stroom, verloopt de *spanning* over die condensator lineair met de tijd.

  Principe-schema van een zaagtand*spannings*-oscillator.

  S open: slagtijd

  S gesloten: terugslagtijd



  In praktische schakelingen gebruikt men voor S een *elektronische* schakelaar; bijv. een unijunction transistor.

- Men kan een oscillatorsignaal "in de pas laten lopen" met een ander signaal, door de *trigger*-methode of door de *synchronisatie*-methode.

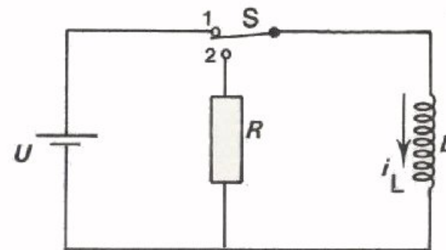
- Bij het triggeren gebruikt men het triggersignaal om de oscillator te *starten*. Na iedere periode van het oscillatorsignaal moet er opnieuw worden gestart.
- Bij oscilloscopen wordt de triggermethode toegepast om de ingebouwde zaagtandspannings-oscillator "in de pas te laten lopen" met het Y-signaal. Dit is nodig om stilstaande afbeeldingen te krijgen.

- Bij het synchroniseren gebruikt men het synchronisatiesignaal om de "in zijn eigen tempo oscillerende" schakeling zodanig te *beinvloeden* dat een gelijkloop tot stand komt.
  Een oscillator met een synchronisatie-ingang oscilleert dus ook zonder synchronisatie-impulsen.

NAAM: [ ] KLAS: [ ]

OEFENINGEN

1. In deze zaagtandstroom-oscillator is:
   L = 1 H en U = 10 V
   De schakelaar S staat periodiek 0,4 s in stand 1 en daarna 0,1 s in stand 2.



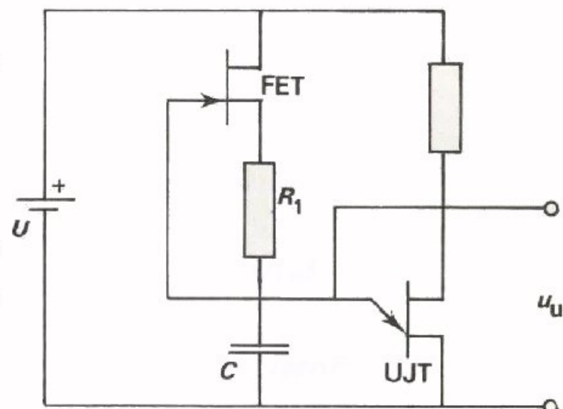
   - Hoe groot is de top-top-waarde van de zaagtandstroom i_L?

   I_{TT} = [A]

   - Hoe hoog is de frequentie?

   f = [Hz]

2. De U.J.T. in nevenstaande zaagtandspannings-oscillator is laagohmig bij een u_{EB1} van 12 V, en wordt daarna weer hoogohmig als u_{EB1} daalt tot 2 V.
   De FET voert een constante stroom I_D = 1 mA. De condensator C heeft een waarde van 100 nF.



   - Bereken de top-top-waarde van de zaagtandspanning u_U.

   U_{TT} = [ ]

   - Bereken de periode-tijd van u_U. (De terugslagtijd mag men te verwaarlozen klein beschouwen).

   T = [ms]

   - Met behulp van welke componenten kan men de frequentie van de zaagtandspanning veranderen?

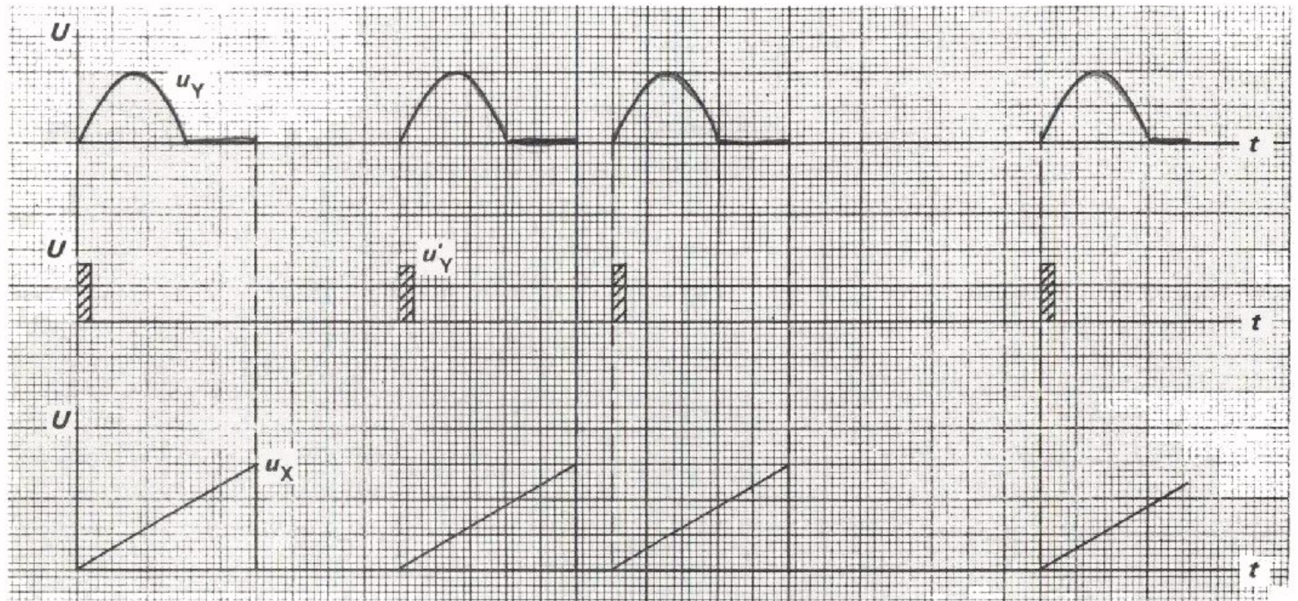
   R1 / R2 / C

3. In de volgende figuur zijn getekend:

u_Y: het aan een oscilloscoop toegevoerde Y-signaal

u'_Y: de van het Y-signaal afgeleide trigger-impulsen

u_X: het door de zaagtand-oscillator geleverde X-signaal.



Geef in de tekening met gekleurd potlood aan welk deel van u_Y op het scherm van de oscilloscoop zichtbaar wordt.

4. De in bovenstaande figuur getekende trigger-impulsen noemt men een niet-periodieke spanning omdat de tijden tussen de impulsen *ongelijk* zijn. Kan men met niet-periodieke impulsen ook *synchroniseren?*

ja / nee

Verklaar uw antwoord.

VOEDINGSSCHAKELINGEN 1

ONGESTABILISEERDE VOEDINGSSPANNINGEN

INLEIDING

In het C-deel van deze cursus worden een groot aantal basisschakelingen besproken. Voor de goede werking van deze schakelingen zijn voedingsspanningen nodig.

Tot nog toe hebben we aan de voedingsbronnen zélf weinig aandacht besteed. We zijn steeds uitgegaan van een "ideale" voedingsbron.
We namen als vanzelfsprekend aan:
- dat de voedingsbron de gewenste spanning leverde,
- dat deze spanning onder alle omstandigheden constant bleef,
- dat een gelijkspanning ook werkelijk een zuivere gelijkspanning was,
- dat de voedingsbron de vereiste stroom ook inderdaad kon leveren.

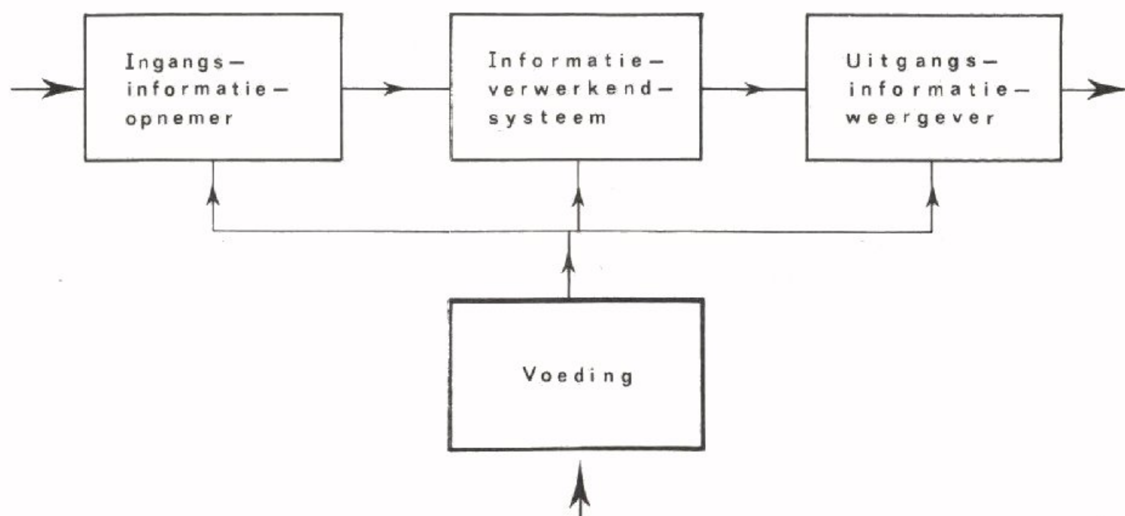
In de nu volgende lessen zal blijken dat het in de praktijk allemaal niet zo eenvoudig ligt.

WAT WE GAAN DOEN

In deze en volgende twee lessen gaan we ons bezig houden met voedingsbronnen die *gelijkspanningen* leveren. We zullen hierbij onderscheid maken tussen zogenaamde *ongestabiliseerde* en *gestabiliseerde* voedingsbronnen.
Bij ongestabiliseerde voedingsbronnen kan de afgegeven spanning hoger of lager worden, bijvoorbeeld als gevolg van een veranderende belasting.
Bij gestabiliseerde voedingsbronnen heeft men maatregelen genomen om de afgegeven spanning *stabiel* te houden.

In deze les gaan we een aantal ongestabiliseerde voedingsbronnen behandelen.

DE PLAATS VAN EEN VOEDINGSBRON IN EEN ANALOOG SYSTEEM

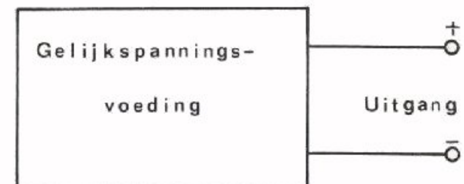


DE FUNCTIE "VOEDEN"

In de elektronica verstaan we onder "voeden" het toevoeren van elektrische *energie* aan elektronische schakelingen, teneinde deze schakelingen te laten functioneren.

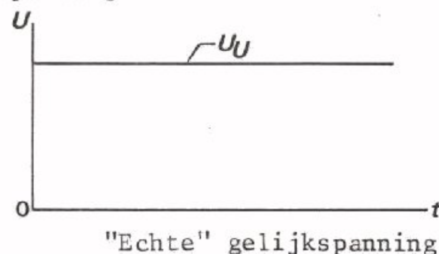
Elke bron waaruit deze elektrische energie betrokken kan worden, noemt men in de elektronica een *voedingsbron* of kortweg *voeding*. Een voeding die *gelijk*spanning levert noemen we een *gelijkspanningsvoeding*.

Gelet op de functie kunnen we een gelijkspanningsvoeding schematisch voorstellen door een blok met een uitgang. Aan deze uitgang is een gelijkspanning beschikbaar. De polariteit van de spanning wordt weergegeven met "+" en "-".

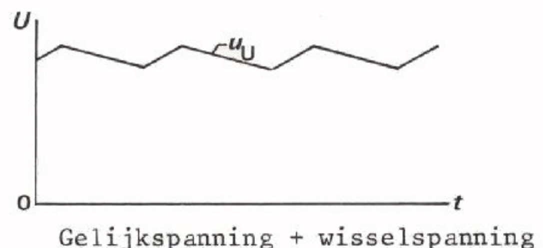


De voor de praktijk belangrijkste eigenschappen van een gelijkspanningsvoeding zijn:

1. De grootte en de stabiliteit van de uitgangsspanning.
   In hoeverre blijft de uitgangsspanning gelijk aan de ingestelde waarde?
2. De grootte van de af te nemen stroom.
   Hoeveel stroom kan de voeding maximaal leveren, en wat gebeurt er als er te veel stroom wordt afgenomen?
3. De zuiverheid van de gelijkspanning.
   In welke mate komt de uitgangsspanning overeen met een "echte" gelijkspanning?

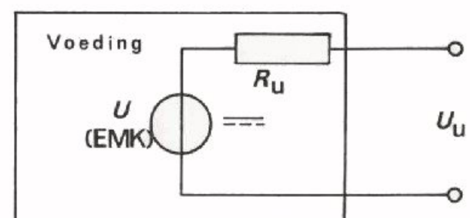


"Echte" gelijkspanning



Gelijkspanning + wisselspanning

4. De uitgangsweerstand.
   Tussen de uitgangsklemmen van een gelijkspanningsvoeding meet men niet alleen gelijkspanning, maar ook een zekere weerstandswaarde. In nevenstaande figuur is dit weergegeven.
   De R_u noemt men de uitgangsweerstand van de voeding. U is de E.M.K.



5. Het rendement.
   Dit begrip wordt op de volgende pagina uitgelegd.

HET RENDEMENT VAN VOEDINGSBRONNEN

Het is te begrijpen dat de elektrische energie die een voedingsbron levert niet in de schakeling zelf wordt opgewekt. Er moet van buitenaf energie worden toegevoerd (dit hoeft geen elektrische energie te zijn).
De aan een voeding toegevoerde energie is altijd groter dan de energie die kan worden afgenomen; in de voedingsbron zelf gaat energie "verloren".
Dit verlies aan energie wordt tot uitdrukking gebracht met het begrip *rendement*. (η).

$$\eta = \frac{\text{De afgenomen elektrische energie}}{\text{De toegevoerde energie}} \times 100\%$$

OEFENING Het rendement van een voedingsbron is altijd **groter/kleiner** dan 100%.

ENKELE VOORBEELDEN VAN VOEDINGSBRONNEN

- Bij een droge *batterij* wordt éénmalig chemische energie toegevoerd in de vorm van een vaste stof. Door een scheikundige werking wordt deze chemische energie omgezet in elektrische energie, die aan de aansluitklemmen van de batterij beschikbaar komt. Een batterij is "op" als de toegevoerde chemische energie is uitgeput.
- Bij een *accu* wordt tijdens het laden elektrische energie toegevoerd, in de accu omgezet in chemische energie en daar bewaard.
  Tijdens het ontladen, als we stroom afnemen, wordt de chemische energie weer omgezet in elektrische. De verbruikte energie kan men telkens aanvullen. Naarmate meer energie wordt afgenomen, moet een accu vaker worden bijgeladen.
- Bij een *netspanningsvoeding* wordt voortdurend wisselspanningsenergie uit het lichtnet toegevoerd aan de ingang. In de voeding wordt de wisselspanningsenergie omgezet in gelijkspanningsenergie die aan de uitgang beschikbaar komt.
- Bij een *aggregaat*, bestaande uit een benzinemotor gekoppeld met een dynamo, voert men chemische energie in de vorm van benzine toe.
  In de motor wordt de chemische energie omgezet in mechanische energie.
  De dynamo zet de mechanische energie om in elektrische energie.
- Bij een *zonnecel* wordt energie in de vorm van licht rechtstreeks omgezet in elektrische energie.

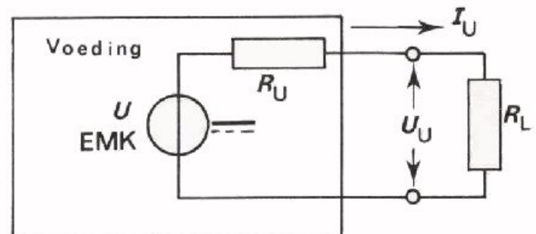
De netspanningsvoeding wordt in de elektronica veruit het meeste toegepast. Bijna alle elektronische apparaten die binnenshuis worden gebruikt zijn uitgerust met een netspanningsvoeding.
Batterijen, accu's en aggregaten worden toegepast op plaatsen waar geen netspanning aanwezig is. Batterijen kunnen slechts weinig energie leveren; accu's en aggregaten zijn geschikt voor het leveren van veel meer energie.
Zonnencellen worden in de ruimtevaart gebruikt. Ook als "alternatieve" energiebron op aarde lijkt de zonnecel een grote toekomst te hebben.

DE IDEALE VOEDINGSBRON

Hoewel een ideale voeding in de praktijk niet bestaat, is het toch nuttig zich af te vragen welke eigenschappen een voeding zou moeten hebben om ideaal te zijn. We kunnen dan immers de eigenschappen van een praktische voeding hiermee vergelijken.

- Een ideale voedingsbron heeft een R_U van 0 Ω.

  Bij een R_U van 0 Ω heeft de uitgangsspanning (U_U) een constante waarde onafhankelijk van de grootte van de uitgangsstroom (I_U). Ga dit zelf na aan de hand van nevenstaand vervangingsschema.



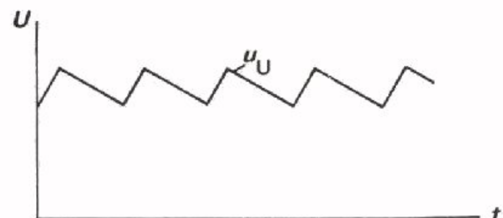
  Bij praktische voedingsbronnen heeft de R_U een bepaalde waarde. Het gevolg hiervan is, dat bij een wisselende stroom I_U de spanning over R_U en dus ook de uitgangsspanning varieert ($U_U = U_{EMK} - I_U . R_U$).

- Een ideale voedingsbron heeft een uitgangsspanning waarvan de grootte onafhankelijk is van de ingangsspanning.

  Op batterijen en accu's is dit niet van toepassing. Bij netspanningsvoedingen komt dit wel aan de orde. Wij zullen in deze les nog ervaren dat bij dit soort voedingen de uitgangsspanning "meegaat" met de netspanning. In de praktijk treden ongewild netspannings-variaties op die groter kunnen zijn dan plus of min 10%.

- Een ideale voeding levert een zuivere gelijkspanning.

  Batterijen en accu's leveren een nagenoeg zuivere gelijkspanning. Bij voedingsbronnen die hun energie uit het sterkstroomnet betrekken is de uitgangsspanning min of meer "gerimpeld" (zie figuur). De frequentie van deze rimpelspanning is gelijk aan de netfrequentie (50 Hz) of een veelvoud ervan (bijv. 100 Hz).



- Een ideale voeding heeft een oneindig grote capaciteit.

  Hiermee bedoelen we dat de voedingsbron gedurende een oneindig lange tijd de gewenste energie kan blijven leveren.
  Van een netspanningsvoeding kunnen we energie afnemen zolang de netspanning aangesloten blijft.
  Een batterij en een accu kunnen slechts een beperkte hoeveelheid energie opleveren. Hun capaciteit is groter naarmate de afmetingen groter zijn.

- Een ideale voeding heeft een rendement van 100%.

  Bij het omzetten van de ene soort energie in een andere soort gaat veel energie verloren. Daarom is het rendement van batterijen, zonnecellen en aggregaten bijzonder laag (het rendement van zonnecellen is ca. 15%).
  Bij netspanningsvoedingen waarbij geen omzetting van energiesoort plaats vindt, kan het rendement meer dan 90% zijn.

PRAKTISCHE VOEDINGSBRONNEN: DROGE BATTERIJEN EN ACCU's

Batterijen en accu's gebruikt men als voedingsbron op plaatsen waar geen netspanning annwezig is. Bijvoorbeeld in draagbare radio's, in auto's, in vliegtuigen en op schepen.
Het meest opvallende verschil tussen een batterij en een accu is, dat men van een batterij slechts éénmaal de beschikbare energie kan afnemen, terwijl een accu na lading opnieuw kan worden gebruikt. Bovendien heeft een accu een grotere capaciteit dan een droge batterij van dezelfde afmetingen. Een accu is echter veel duurder dan een batterij.

De capaciteit wordt opgegeven in ampère-uren (afgekort: Ah). Dit is het produkt van de gemiddelde afgenomen stroom en de tijd gedurende welke men deze stroom kan afnemen om de geladen accu te ontladen. Een accu met een capaciteit van 30 Ah kan gedurende 10 uur een stroom van 3A leveren, maar ook 30 uur lang een stroom van 1A. Een accu kan grotere stromen leveren dan een droge batterij, omdat zijn R_U veel kleiner is. Er zijn echter wel grenzen gesteld aan de stroom die een accu maximaal mag leveren. De capaciteit van batterijen en accu's hangt af van de samenstelling en de afmetingen. Het zal duidelijk zijn dat men in een accu meer energie kan "opslaan" naarmate de afmetingen groter zijn. Op de samenstelling van accu's en batterijen gaan we hier niet in.

De spanning van een batterij of accu hangt af van het aantal in serie geschakelde cellen. De spanning van een koolstofcel is 1,5 V. Drie van deze cellen in serie vormen een 4,5 V-batterij. De spanning van één cel van een loodaccu, die pas geladen is, is ongeveer 2,2 V. Zes van deze cellen vormen een 12 V-accu zoals men die in auto's gebruikt. Tijdens het ontladen daalt geleidelijkaan de klemspanning van een batterij en een accu, omdat de EMK afneemt en de R_U toeneemt. Bij een accu mag de spanning per cel niet lager worden dan ca. 1,8 V. Een verdere ontlading gaat ten koste van de le levensduur van de accu.

OEFENING

Een accu van 30 Ah bestaat uit 6 cellen. Tijdens het ontladen daalt de spanning van elke cel geleidelijk van 2,2 V naar 1,8 V. Het ontladingsproces duurt 10 uur. Gedurende deze tijd is de gemiddelde ontlaadstroom:

I_{GEM} = [A]

De gemiddelde spanning per cel tijdens het ontladen is:

U_{GEM} (per cel) = [V]

De gemiddelde spanning van de accu is dus:

U_{GEM} (accu) = [V]

De door de accu geleverde energie is [Wh]

Let op: elektrische energie = elektrische arbeid = $U \times I \times t$.

PRAKTISCHE VOEDINGSBRONNEN: NETSPANNINGSVOEDINGEN

In veruit de meeste gevallen wordt een voedingsspanning afgeleid van de netspanning. Daarom zullen we in het vervolg van deze lessen uitsluitend over dit soort voedingen praten.
We onderscheiden twee soorten netspanningsvoedingen: de *ongestabiliseerde* en de *gestabiliseerde*.
Bij de ongestabiliseerde netspanningsvoedingen is de uitgangsspanning sterk afhankelijk van belastingsvariaties en netspanningsvariaties. Bij gestabiliseerde netspanningsvoedingen heeft men speciale voorzieningen aangebracht om de uitgangsspanning constant te houden.
De rest van *deze* les handelt over *on*gestabiliseerde netspanningsvoedingen.

Een ongestabiliseerde netspanningsvoeding bestaat meestal uit drie delen:
- de *voedingstransformator*,
- de *gelijkricht*-schakeling (of gelijkrichter),
- de *afvlak*-schakeling (of afvlakfilter).



De voedingstransformator transformeert de netspanning van 220 V naar een hogere of lagere waarde, afhankelijk van het feit of U_U hoog of laag moet zijn.
De gelijkrichter maakt van de sinusvormige wisselspanning een "gerimpelde" gelijkspanning.
De afvlakschakeling zorgt ervoor dat de wisselspanningscomponent van deze gerimpelde gelijkspanning wordt verzwakt, zodat er een "bijna" zuivere gelijkspanning ontstaat.

We gaan nu eerst een aantal gelijkrichtschakelingen bespreken.

OEFENING

De R_u van een ongestabiliseerde voeding is 100 Ω.
In onbelaste toestand levert deze voeding een spanning van 12 V.

Hoe groot wordt de uitgangsspanning bij een uitgangsstroom van 40 mA?

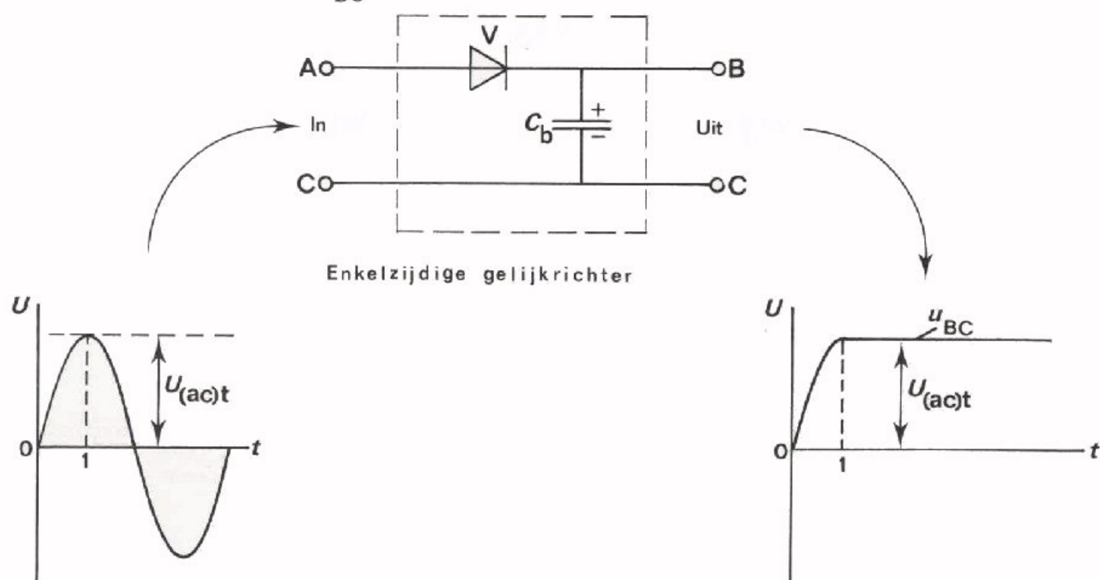
U_U = [V]

DE ENKELZIJDIGE GELIJKRICHTER (ZONDER BELASTING)

Een gelijkrichter waarbij steeds óf het positieve, óf het negatieve gedeelte van de ingangs-wisselspanning wordt benut voor het verkrijgen van een gelijkspanning, noemt men een *enkelzijdige* gelijkrichter.

Hieronder is het schema van een enkelzijdige gelijkrichter getekend. Deze bestaat uit de gelijkrichterdiode V en de zogenaamde buffercondensator C_b (deze benaming zal u later duidelijk worden).

Om de werking van deze schakeling beter te begrijpen, gaan we eerst de toestand bespreken waarbij de uitgang van de gelijkrichter *niet* is belast.
We nemen verder aan dat de ingangsspanning u_{ac} sinusvormig is, en de diode ideaal.
Tijdens de eerste ¼ periode van u_{ac} (t = 0 tot t = 1) wordt de condensator via de diode geladen tot de topwaarde van u_{ac}. Hierbij wordt punt B positief t.o.v. punt C.
Na het tijdstip t = 1 is de diode gespert omdat de spanning op punt A niet meer boven die van punt B uitkomt.
De uitgangsspanning u_{BC} is dan *zuivere* gelijkspanning.



Enkelzijdige gelijkrichter

Uit het bovenstaande zouden we de conclusie kunnen trekken dat ons doel is bereikt: nl. van een wisselspanning een zuivere gelijkspanning maken. Op het volgend blad zal echter blijken dat dit niet meer op gaat als we de uitgang van de gelijkrichter belasten. In dit geval ontstaat er wél een ongewenste rimpelspanning op de gelijkspanning.

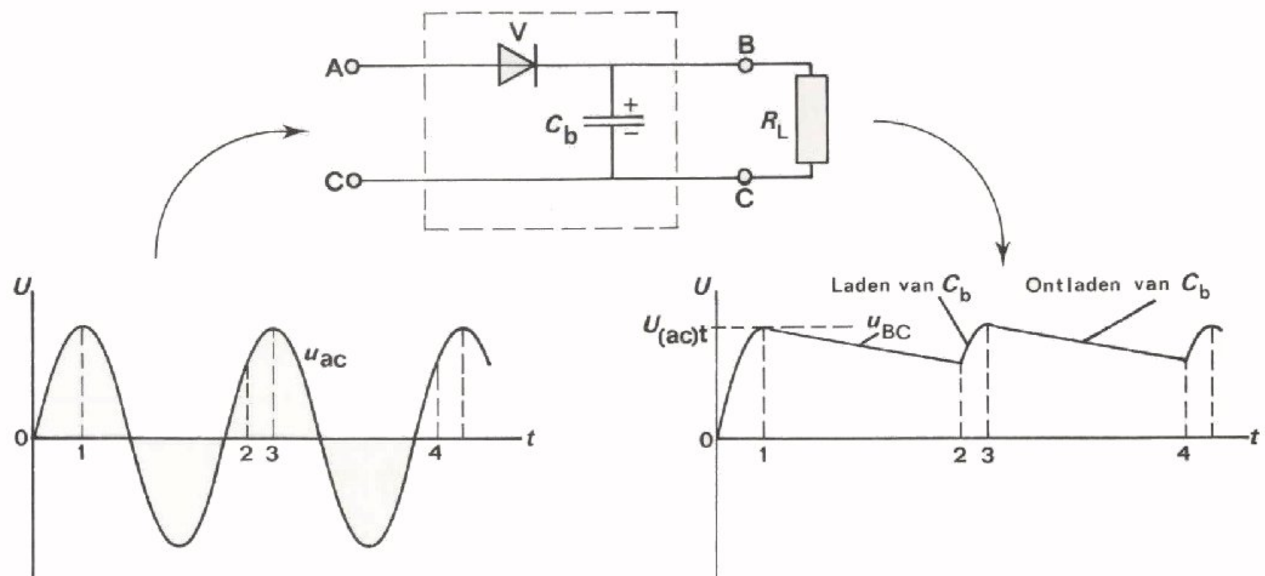
OEFENING

Als in bovenstaand geval $U_{(ac)t}$ = 10 V en bovendien gegeven is dat de diode pas bij 0,6 V gaat geleiden, hoe groot is dan U_{BC}?

U_{BC} = [   ] V

DE ENKELZIJDIGE GELIJKRICHTER (MET BELASTING)

Hieronder is nogmaals de enkelzijdige gelijkrichter van blad 8 afgebeeld. De uitgang is nu wél belast. De belastingsweerstand R_L vervangt de schakeling die moet worden gevoed.
De ingangsspanning u_{ac} is sinusvormig. De uitgangsspanning (dit is de spanning over de condensator) noemen we U_{BC}.



De schakeling werkt als volgt:

- Het tijdbestek vanaf $t = 0$ tot $t = 1$.
  Omdat punt A positief is t.o.v. B vloeit er stroom via de diode naar C_b en R_L.
  De condensator wordt geladen tot de topwaarde van u_{ac}. Punt B wordt hierbij positief t.o.v. C.

- Het tijdbestek vanaf $t = 1$ tot $t = 2$.
  Gedurende deze tijd is punt A negatief t.o.v. B. De diode is gesperd.
  De condensator ontlaadt zich over R_L. De uitgangsspanning wordt hierdoor geleidelijk lager.

- Het tijdbestek vanaf $t = 2$ tot $t = 3$.
  Vanaf het moment dat punt A weer positief wordt t.o.v. B, wordt C_b weer bijgeladen tot $U_{(ac)t}$ via de diode.

- Vanaf $t = 3$ tot $t = 4$ wordt u_{bc} weer lager omdat C_b zich over R_L ontlaadt.
  enz.

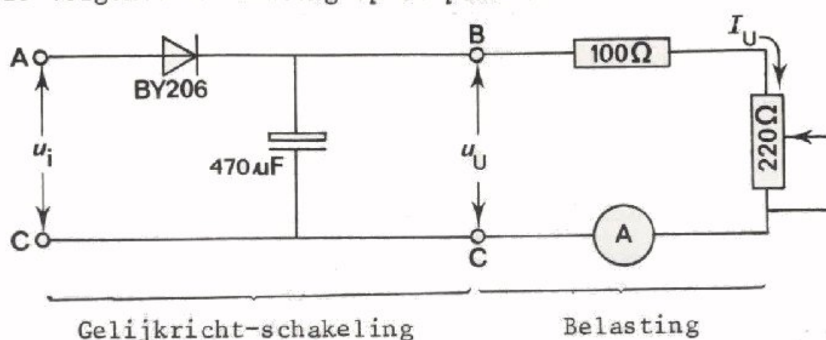
Aldus ontstaat er over de uitgang van de gelijkrichter een gerimpelde gelijkspanning. De top-top-waarde van de rimpelspanning is veel kleiner dan de top-top-waarde van de ingangsspanning. De condensator vangt dus een groot gedeelte van de ingangsspanningspieken op. Daarvan de naam: *buffer*condensator.

Het in stand houden van de condensatorspanning gebeurt hier uitsluitend tijdens de positieve top van de ingangsspanning; de negatieve top wordt niet benut. Vandaar de naam: *enkelzijdige* gelijkrichting.

De diode moet de condensator iedere keer bijladen. Omdat dit in een *korte tijd* moet gebeuren is de laadstroom *groot*. De diode moet dus grote stroomstoten kunnen verdragen.

OPDRACHT: HET METEN AAN EEN ENKELZIJDIGE GELIJKRICHTER

- Bouw de volgende schakeling op uw paneel.



- Leg tussen de punten A en C van de gelijkrichtschakeling een wisselspanning van 6,3 V (50 Hz). (Bij de onderdelen is een voedingstransformator die deze spanning levert).

- Maak de belasting los van de gelijkrichtschakeling.

- Meet m.b.v. een oscilloscoop achtereenvolgens de topwaarde van de ingangswisselspanning en de uitgangsgelijkspanning.

  U_{it} = [V] U_U = [V]

  Merk op dat $U_U \approx U_{it}$.

  De uitgangsspanning bevat **wel/geen** rimpelspanning.

- Maak de belasting vast aan de uitgang van de gelijkrichtschakeling.
  Regel de uitgangsstroom I_U m.b.v. de potentiometer.
  Meet de rimpelspanning u_U bij I_U = 40 mA en bij I_U = 80 mA.

I_U	u_U (top-top-waarde)
40 mA	
80 mA	

  Naarmate de gelijkrichter meer stroom levert, wordt u_U **groter/kleiner**

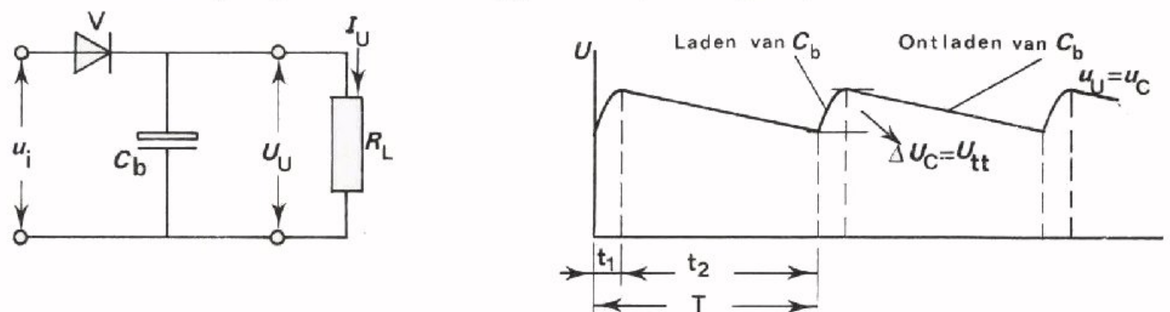
- Meet de periodetijd van de rimpelspanning. T = [ms]

  Merk op dat de periodetijd van de rimpelspanning gelijk is aan die van de netspanning.

HET BEREKENEN VAN DE RIMPELSPANNING

Uit voorgaande metingen hebben we ervaren dat de rimpelspanning op de uitgang van een gelijkrichter groter is naarmate er meer stroom wordt afgenomen. Dit feit is ook eenvoudig in te zien als we de werking van de gelijkrichter goed hebben begrepen.

We hebben op pag. 9 geleerd dat de uitgangsstroom hoofdzakelijk door de buffercondensator wordt geleverd. Gedurende korte tijden wordt de condensator via de gelijkrichtdiode bijgeladen (zie figuur).



Uit de elektriciteitsleer weten we, dat voor een condensator geldt:

$$Q = i.t \qquad U_C = \frac{Q}{C} = \frac{i.t}{C}$$

Als we deze gegevens toepassen op onze gelijkrichtschakeling, dan komen we tot de volgende resultaten:

Gedurende de ontlaadtijd t_2 (deze tijd is bij benadering gelijk aan T), vloeit er uit C_b een stroom I_U. Van de condensator wordt dus een lading onttrokken van : $Q = I_U.t_2 \approx I_U.T$ (T is de periodetijd van de rimpelspanning).

Ten gevolge van dit ladingsverlies zal de condensatorspanning dalen met een bedrag $\Delta U_c = U_{tt}$ (rimpel).
Uit het bovenstaande volgt nu:

$$U_{tt} \text{ (rimpel)} = \frac{Q}{C_b} = \frac{I_u \cdot T}{C_b}$$

OEFENING

Controleer met deze formule de meetresultaten van blad 11.

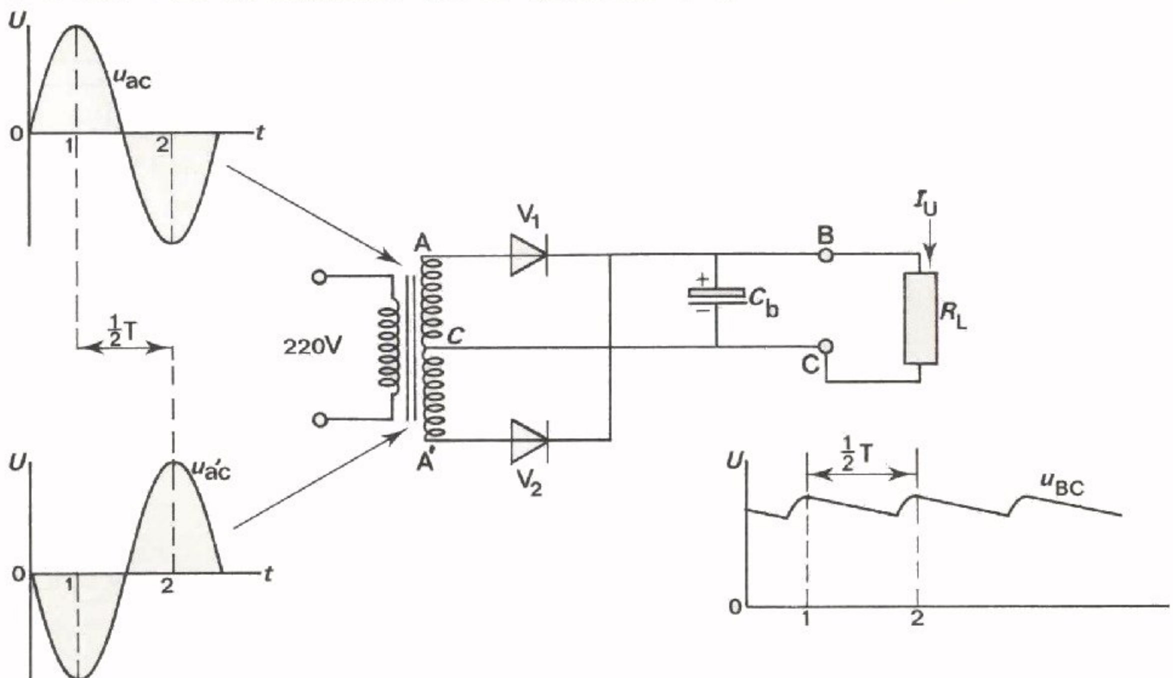
I_u	U_{tt} (gemeten)	U_{tt} (berekend)
40 mA		
80 mA		

Waarom gebruikt men als buffercondensator bijna altijd een elektrolytische condensator?

EEN DUBBELZIJDIGE GELIJKRICHTER

Een gelijkrichter waarbij én het positieve én het negatieve gedeelte van de ingangswisselspanning wordt benut voor het verkrijgen van een gelijkspanning, noemt men een *dubbelzijdige* gelijkrichter.

Hieronder is het schema van een dubbelzijdige gelijkrichter afgebeeld. Deze bestaat uit *twee* gelijkrichtdioden V_1 en V_2 en een buffercondensator C_b.
We hebben voor deze schakeling twee evengrote ingangsspanningen nodig, die onderling in tegenfase zijn. Dit bereikt men m.b.v. een nettransformator waarvan de secundaire een middenaftakking heeft. De spanning van punt A t.o.v. C is in tegenfase met de spanning van punt A' t.o.v. C.



De werking van de schakeling is als volgt:

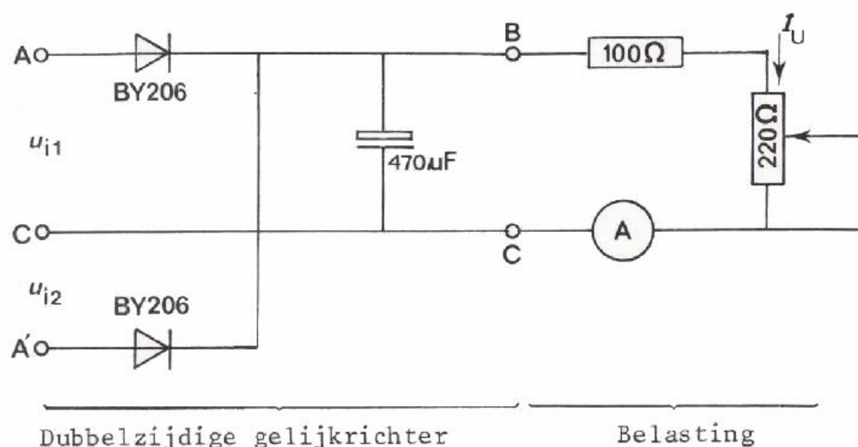
- Ook bij deze schakeling wordt de uitgangsstroom I_u hoofdzakelijk door C_b geleverd.
- Even voordat punt A maximaal positief wordt t.o.v. C (tijdstip t = 1) wordt C_b bijgeladen via diode V_1. (Volg de stroomweg: punt A ⟶ V_1 ⟶ C_b ⟶ punt C).
- Een *halve* periode later, even voordat punt A' maximaal positief wordt t.o.v. C (tijdstip t = 2), wordt C_b wéér bijgeladen, maar nu via diode V_2 (volg de stroomweg: punt A' ⟶ V_2 ⟶ C_b ⟶ punt C).

Per periode van de netspanning wordt de buffercondensator dus *tweemaal* bijgeladen (vandaar de naam: *dubbelzijdige* gelijkrichting).

De ontlading van C_b duurt telkens ongeveer $\frac{1}{2}T$. Volgens de formule van pag. 12 zal bij dubbelzijdige gelijkrichting de rimpelspanning dus een factor *twee* kleiner zijn dan bij enkelzijdige gelijkrichting. Dit is het voordeel van een dubbelzijdige gelijkrichter t.o.v. een enkelzijdige.

OPDRACHT: HET METEN AAN EEN DUBBELZIJDIGE GELIJKRICHTER

- Vervang de enkelzijdige gelijkrichter van de vorige opdracht door de dubbelzijdige gelijkrichter die hieronder is getekend.



Dubbelzijdige gelijkrichter Belasting

- Leg tussen de punten A en C een wisselspanning u_{i1} van 6,3 V (50 Hz), en tussen A' en C een andere wisselspanning u_{i2} van 6,3 V (50 Hz), zodanig dat de spanning op punt A in tegenfase is met die op punt A'. (Deze spanningen zijn beschikbaar op uw paneel).

- Maak de belasting los van de gelijkrichter.

- Meet m.b.v. een oscilloscoop de topwaarde van de twee ingangsspanningen en de onbelaste uitgangsspanning.

U'_{i1t} = [V] U_{i2t} = [V] U_U = [V]

Merk op dat $U_U \approx U'_{i1t} \approx U_{i2t}$

Maak de belasting vast aan de uitgang van de gelijkrichter. Regel de uitgangsstroom I_u m.b.v. de potentiometer.
Meet de rimpelspanning u_u bij I_u = 40 mA en bij I_u = 80 mA.

I_u	U_u (top-top-waarde)
40 mA	
80 mA	

Vergelijk deze meetresultaten met die van de vorige opdracht.

De rimpelspanning bij dubbelzijdige gelijkrichting is een factor [ ] kleiner dan bij enkelzijdige gelijkrichting.

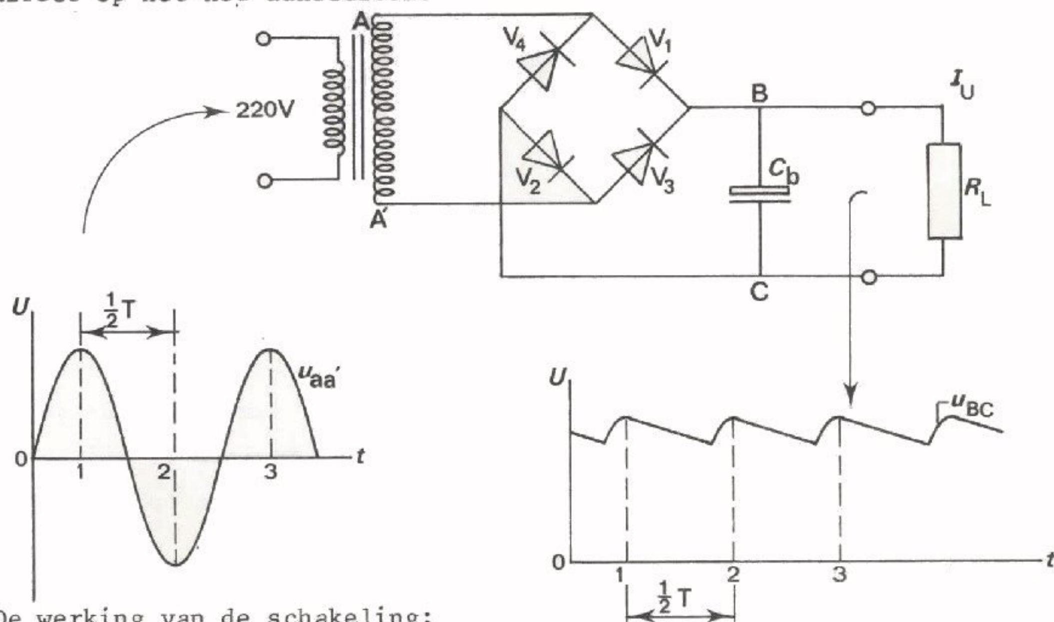
- Meet de periodetijd van de rimpelspanning. T = [ms]

DE GRAETZSCHAKELING

Een Graetzschakeling is in principe een dubbelzijdige gelijkrichter. De gelijkspanning komt dus tot stand door zowel het positieve als het negatieve deel van de ingangswisselspanning te benutten.

Het schema van een Graetzschakeling is hieronder afgebeeld. De schakeling bestaat uit *vier* gelijkrichtdioden V_1, V_2, V_3 en V_4 en de buffercondensator C_b.

In tegenstelling met de dubbelzijdige gelijkrichter die we hiervoor behandelde, hebben we voor de Graetzschakeling slechts *één* ingangsspanning nodig. Deze wordt meestal betrokken uit een voedingstransformator. Als de ingangsspanning toevallig 220 V moet zijn, kan men de gelijkrichter ook direct op het net aansluiten.



De werking van de schakeling:

- We gaan er weer vanuit dat de uitgangsstroom I_u in hoofdzaak uit de buffercondensator C_b komt.
- Even voordat punt A maximaal positief wordt t.o.v. punt A' (tijdstip t = 1) wordt C_b bijgeladen via de dioden V_1 een V_2. (Volg de stroomweg: punt A ⟶ V_1 ⟶ C_b ⟶ V_2 ⟶ punt A').
- Een halve periode later, even voordat punt A' maximaal positief wordt t.o.v. punt A' (tijdstip t = 2) wordt C_b bijgeladen via de dioden V_3 en V_4. (Volg de stroomweg: punt A' ⟶ V_3 ⟶ C_b ⟶ V_4 ⟶ punt A).

Dus ook bij deze schakeling wordt gedurende *één* periode van de netspanning, de buffercondensator *tweemaal* bijgeladen. De rimpelspanning is ook hier een factor *twee* kleiner dan bij enkelzijdige gelijkrichting.

De verkregen gelijkspanning is bij een Graetzschakeling een factor *twee* groter dan bij de dubbelzijdige gelijkrichter van blad 13. Bij bovenstaande schakeling staat de *hele* secundaire spanning via dioden over C_b. Bij de schakeling van blad 13 wordt C_b geladen m.b.v. de *halve* secundaire spanning.

WAARVOOR DIENT DE VOEDINGSTRANSFORMATOR?

Meestal wordt een gelijkrichtschakeling niet rechtstreeks, maar via een voedingstransformator met het lichtnet verbonden. Waarom doet men dit?

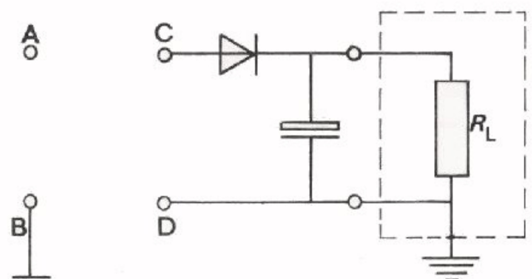
Op de eerste plaats gebruikt men een voedingstransformator om de *gewenste wisselspanningen* te verkrijgen. De netspanning is over het algemeen 220 V. Bij een laagspannings-voeding heeft men echter een wisselspanning nodig die lager is dan 220 V; bij hoogspanningsvoedingen moet de netspanning meestal ópgetransformeerd worden. Bovendien heeft men soms behoefte aan meer dan één wisselspanning. Bijvoorbeeld bij de dubbelzijdige gelijkrichter met twee **dioden** waarvoor *twee* wisselspanningen in tegenfase nodig zijn. De voedingstransformator heeft dan meerdere secundaire wikkelingen.

Op de tweede plaats gebruikt men een voedingstransformator om de gelijkrichtschakeling "*galvanisch te scheiden*" van het net. Hiermee bedoelen we dat er geen geleidende verbinding is tussen de gelijkrichter en het lichtnet. De gelijkrichtschakeling is geïsoleerd van het net. De verbinding komt langs inductieve weg tot stand. Men voorkomt daarmee bepaalde moeilijkheden die we nu gaan bekijken.

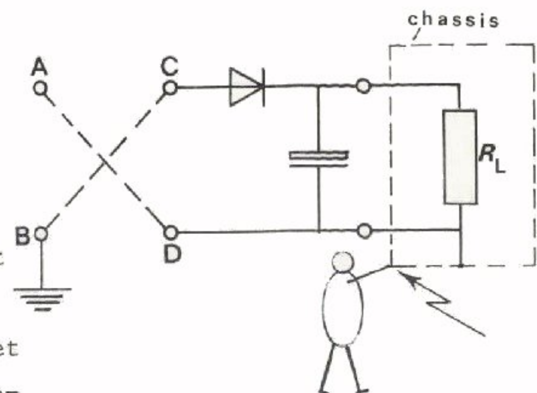
Zoals u waarschijnlijk weet is de netspanning op een wandcontactdoos aan één zijde geaard. Welke van de twee bussen van de wandcontactdoos geaard is, kan men aan de buitenzijde niet zien. Sluiten we bijvoorbeeld een enkelzijdige gelijkrichter zonder transformator aan op de wandcontactdoos, dan kunnen zich de volgende situaties voordoen:

- De schakeling waarmee de gelijkrichter is belast (R_b) is *geaard*.

  Als toevallig punt A met C en B met D wordt verbonden, gaat alles goed. Plaatsen we de steker echter andersom in de wandcontactdoos, dan wordt punt A met D verbonden. De netspanning is dan via aarde kortgesloten.



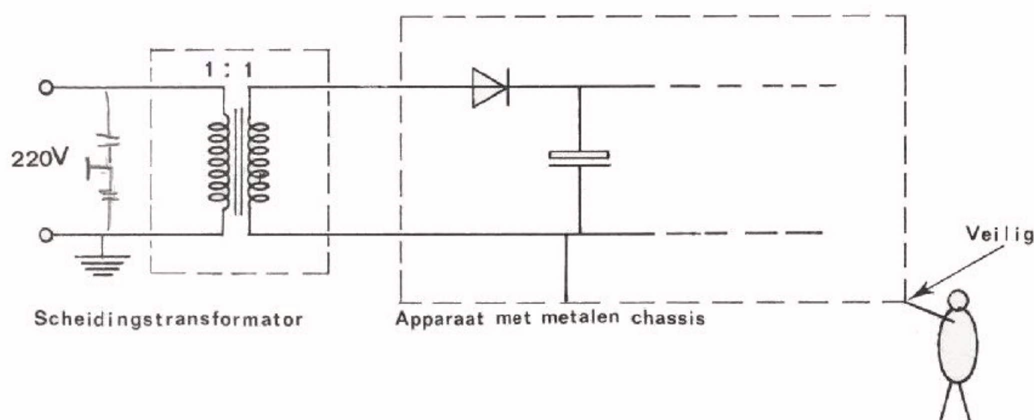
- De belasting van de gelijkrichter is *niet geaard.*



In dit geval is de kans op kortsluiting niet aanwezig. Toch kunnen er problemen ontstaan.
De schakeling waarmee de gelijkrichter is belast, ligt vaak aan één kant aan het chassis. Wordt nu A met D en B met C verbonden, dan staat er op het chassis 220 V t.o.v. aarde. Als nu iemand die zelf geaard is het chassis aanraakt, ontstaat er een levensgevaarlijke toestand.

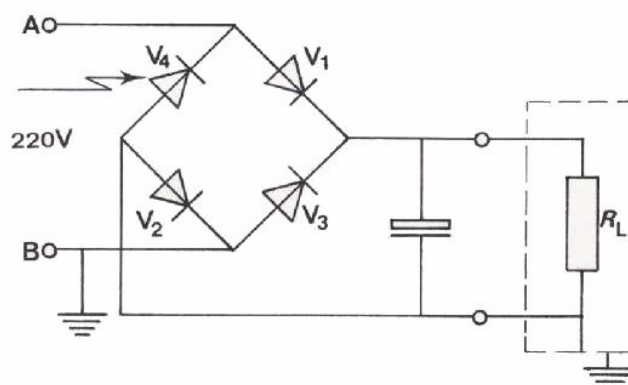
VOEDINGSBRONNEN ZONDER TRANSFORMATOR

- Om kosten te besparen wordt in sommige elektronische apparaten geen voedingstransformator toegepast. Er zijn dan wél maatregelen getroffen dat het metalen chassis van deze apparaten aan de buitenkant niet bereikbaar is. Bij reparaties aan dergelijke apparaten, waarbij het chassis "bloot" komt, moet men tussen het net en het apparaat een zogenaamde "*scheidingstransformator*" (1 : 1) aanbrengen. Het chassis kan dan nooit onder spanning staan (zie figuur).



- Bij een Graetz-gelijkrichter zonder transformator mag de belasting *nooit* geaard worden omdat daardoor altijd één van de vier dioden via aarde wordt kortgesloten.

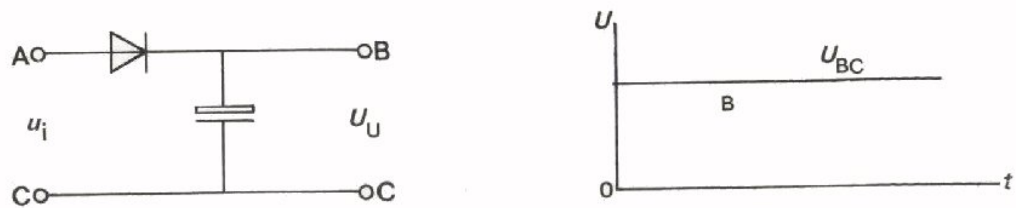
In deze schakeling sluit diode V_4 de netspanning kort via aarde, dit komt omdat diode V_2 kortgesloten is via aarde. Immers als punt B positief is t.o.v. A, gaat er een stroom lopen van B via aarde en diode V_4 naar punt A. De geleidende diode V_4 vormt nu een kortsluiting voor de netspanning en "sneuvelt" ten gevolge van de grote kortsluitstroom.



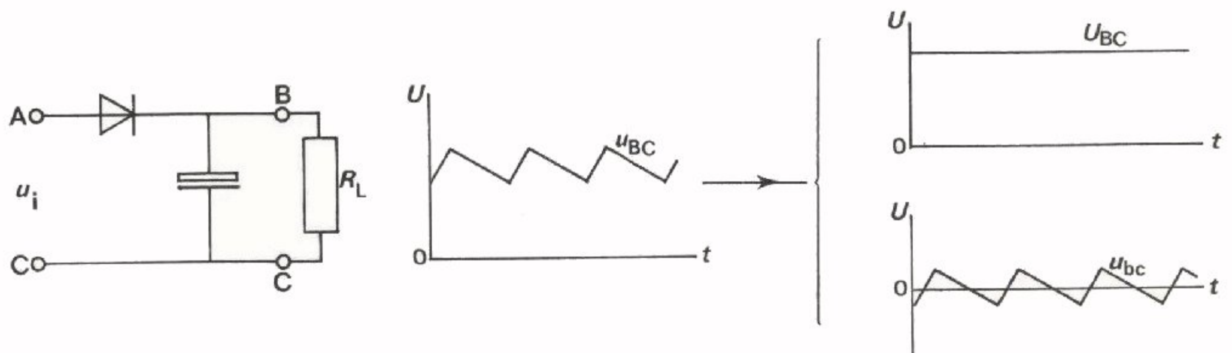
Als men de aarde bij R_L wegneemt kunnen toch moeilijkheden ontstaan bij het meten aan deze schakeling.
Wil men bijv. de spanning over R_L meten, dan wordt de onderkant van R_L via de "aarding" van het meetapparaat toch weer geaard. We hebben dan weer dezelfde situatie als hierboven geschetst.
Ook hier geldt maar één goede oplossing: gebruik een scheidingstransformator tussen het net en de Graetzschakeling.

AFVLAKFILTERS

Zoals we gezien hebben verkrijgen we op de uitgang van een *onbelaste* gelijkrichter een *zuivere* gelijkspanning.



Belasten we de gelijkrichter dan verschijnt er "op" de gelijkspanning een rimpelspanning. (Zie volgend figuur).
De uitgangsspanning bestaat dan uit een gelijkspanningscomponent en een wisselspanningscomponent. De frequentie hiervan is 50 Hz (bij enkelzijdige gelijkrichting) of 100 Hz (bij dubbelzijdige gelijkrichting).



Willen we deze rimpelspanning aan de uitgang beperken dan moeten we beschikken over een filter dat de wisselspanningscomponent sterk verzwakt, maar niet de gelijkspanningscomponent.

Dit bereikt men m.b.v. een *afvlakfilter* dat achter de gelijkrichter wordt geschakeld (zie onderstaande figuur). Men onderscheidt *RC*-afvlakfilters en *LC*-afvlakfilters. Op het volgende blad zullen we de werking hiervan behandelen.

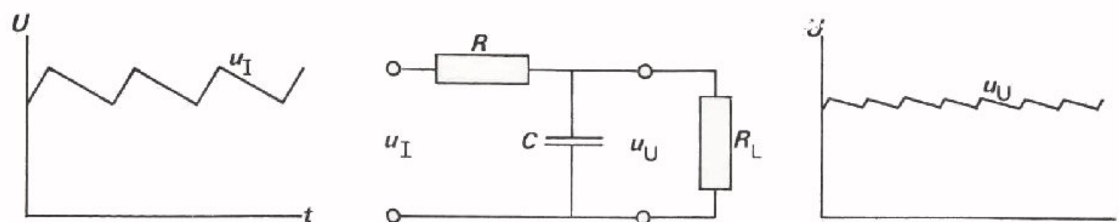


Om de afvlakkende werking van een filter in een getal te kunnen uitdrukken, spreekt men van de *afvlakfactor*, die hoger is naarmate het effect van het filter beter is.

$$F = \frac{\text{rimpelspanning aan de ingang}}{\text{rimpelspanning aan de uitgang}}$$

DE WERKING VAN EEN *RC*-AFVLAKFILTER

Hieronder is een *RC*-afvlakfilter afgebeeld.
De condensator *C* is zó gekozen dat zijn reactantie X_C bij 50 Hz (of bij 100 Hz) zeer klein is t.o.v. *R*.



Voor de *gelijk*spanningscomponent is $X_C = \infty$. De gelijkspanning verdeelt zich over *R* en R_L.
Om zo weinig mogelijk gelijkspanningsverlies over *R* te verkrijgen, moet *R* dus klein zijn t.o.v. R_L.

De *wissel*spanningscomponent verdeelt zich over *R* en *C* waarbij nagenoeg de hele spanning over *R* en slechts een zeer klein deel over *C* komt te staan. (R_L is te verwaarlozen t.o.v. de zéér kleine X_C).

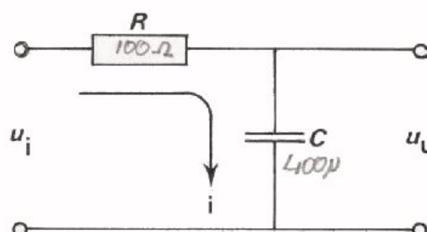
DE AFVLAKFACTOR

De afvlakfactor van het *RC*-filter (zonder belasting) kan men als volgt berekenen. (We nemen hierbij aan dat de wisselspanning over *C* zeer klein is t.o.v. de wisselspanning over *R*).

$$i = \frac{u_i}{R} \text{ en } u_u = i \frac{1}{\omega C}$$

$$\text{dus } u_u = \frac{u_i}{R} \cdot \frac{1}{\omega C} = \frac{i}{\omega CR}$$

$$\text{of } \boxed{F = \frac{u_i}{u_u} = \omega CR = 2\pi fRC}$$



OEFENING

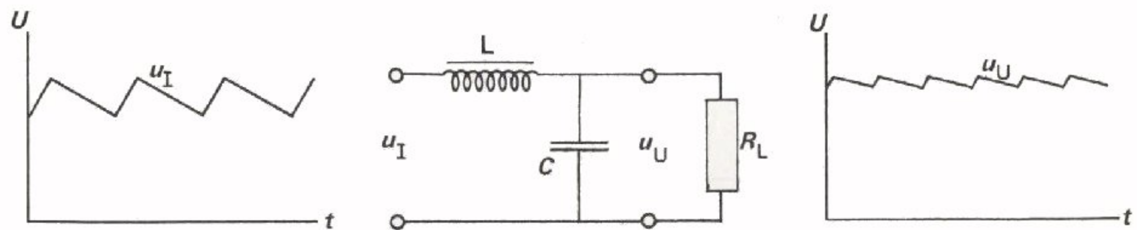
Van een *RC*-afvlakfilter is: $R = 100\ \Omega$ en $C = 400\ \mu F$.
Dit filter is achter de uitgang van een Graetzschakeling geplaatst.

Bereken de afvlakfactor

F ≈ [ ]

DE WERKING VAN *LC*-AFVLAKFILTERS

Het voor afvlakking gangbare *LC*-filter is hieronder afgebeeld.
De condensator *C* is zó gekozen dat bij 50 Hz (of bij 100 Hz) de reactantie X_C zeer klein is t.o.v. X_L.



Voor de *gelijk*spanningscomponent is $X_L = 0$ en $X_C = \infty$.
De gelijkspanning verdeelt zich over de ohmse weerstand van de spoel en de belastingsweerstand R_L.

Voor de *wissel*spanningscomponent is X_L groot en X_C klein. De wisselspanning staat nagenoeg helemaal over de spoel, en slechts een zeer klein deel staat over de condensator *C*.

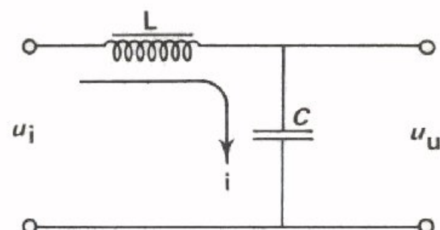
DE AFVLAKFACTOR

Bij het berekenen van de afvlakfactor van het *LC*-filter (zonder belasting) nemen we aan dat X_C te verwaarlozen klein is t.o.v. X_L.

$i = \frac{u_i}{\omega L}$ en $u_u = i \frac{1}{\omega C}$

dus $u_u = \frac{u_i}{\omega L} \cdot \frac{1}{\omega C} = \frac{u_i}{\omega^2 LC}$

of $$\boxed{F = \frac{u_i}{u_u} = \omega^2 LC = 4\pi^2 f^2 LC}$$



OPMERKINGEN

- Uit de formule voor F kan men constateren dat een *LC*-filter beter afvlakt dan een *RC*-filter. De F van een *LF*-filter is immers evenredig met het *kwadraat* van "ω".
  Toch wordt in de praktijk meestal een *RC*-filter toegepast, omdat een weerstand veel kleiner, minder zwaar en goedkoper is.

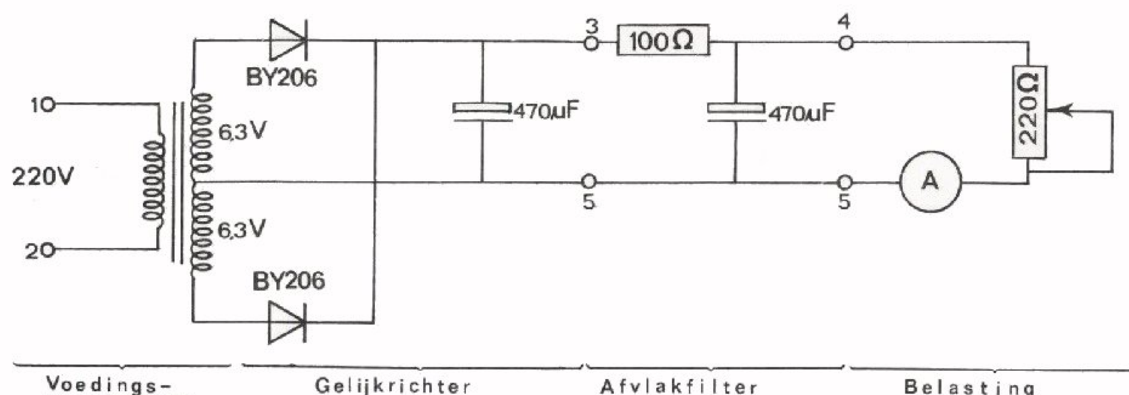
- De afvlakking van beide filters wordt beter naarmate de capaciteit van

  C **groter/kleiner** is.

  Over het algemeen gebruikt men zowel voor de buffercondensator als voor de afvlakcondensator elektrolytische condensators.

OPDRACHT: HET METEN AAN EEN *RC*-AFVLAKFILTER

- Bereid de dubbelzijdige gelijkrichter van de opdracht van pagina 14 uit met een *RC*-afvlakfilter zoals hieronder is weergegeven. We hebben dan een complete ongestabiliseerde netspanningsvoeding verkregen.



- Sluit de punten 1 en 2 aan op een variac, en regel deze totdat de primaire spanning van de voedingstransformator 220 V is.

- Stel de potentiometer, die als belasting dienst doet, zodanig in dat de uitgangsstroom 40 mA is.

- Meet m.b.v. een oscilloscoop achtereenvolgens de rimpelspanning tussen 3 en 5 en tussen 4 en 5. Bereken uit de meetresultaten de afvlakfactor.

U_{3-5} = [mV] U_{4-5} = [mV] F = [ ]

Vergelijk F (gemeten) met F (berekend) op pag. 20.

- Meet de gelijkspanning tussen de punten 4 en 5.

a. Bij I_u = 40 mA: U_{U1} = [V]

b. In onbelaste toestand: U_{U2} = [V]

Bereken de uitgangsweerstand van de voeding. R_u = [Ω]

- Meet de uitgangs-gelijkspanning van de voeding bij diverse waarden van de ingangs-wisselspanning. Maak hierbij I_u = 40 mA.

Bij $U_{i(eff)}$ = 220 V: U_u = [V]

Bij $U_{i(eff)}$ = 200 V: U_u = [V]

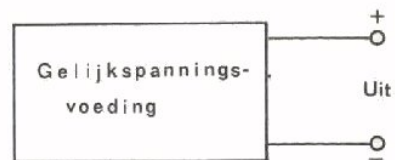
Bij $U_{i(eff)}$ = 240 V: U_u = [V]

Merk op dat de uitgangsspanning in sterke mate afhangt van de ingangsspanning.

VOORLOPIGE SAMENVATTING

In de elektronica verstaan we onder "voeden" het aan elektronische schakelingen toevoeren van elektrische energie om deze goed te laten functioneren.

Gelet op de functie kunnen we een gelijkspanningsvoeding schematisch voorstellen door een blok met een uitgang. Aan deze uitgang is een gelijkspanning beschikbaar.



De belangrijkste uitwendige eigenschappen van een gelijkspanningsvoeding zijn:

- De waarde, de zuiverheid en de stabiliteit van de uitgangsspanning
- De stroom die maximaal afgenomen mag worden.
- De uitgangsweerstand R_u
- Het rendement.

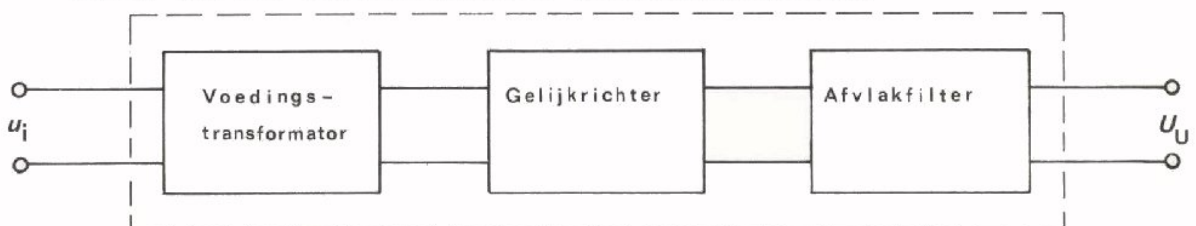
Praktische voedingsbronnen:

- Droge batterijen en accu's
- Netspanningsvoedingen.

Netspanningsvoedingen kan men onderscheiden in:

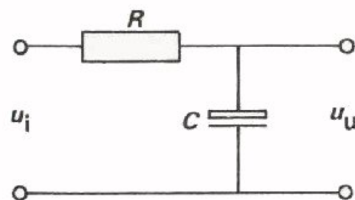
- Ongestabiliseerde voedingen
- Gestabiliseerde voedingen.

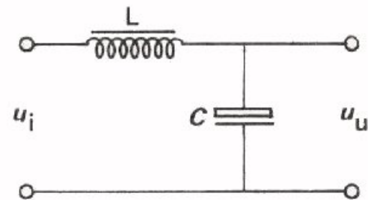
Opbouw van een ongestabiliseerde netspanningsvoeding.



- De gewenste wisselspanning te verkrijgen
- De uitgang van de voedingsschakeling "galvanisch te scheiden" van het lichtnet.

- Soorten gelijkrichtschakelingen:
  - Enkelzijdige gelijkrichter.
  - Dubbelzijdige gelijkrichter.
  - Graetzschakeling (óók dubbelzijdige gelijkrichting).
- Men onderscheidt *RC*- en *LC*-afvlakfilters.





$$F = \frac{u_i}{u_u} = 2\pi f RC$$

$$F = \frac{u_i}{u_u} = 4\pi^2 f^2 LC$$

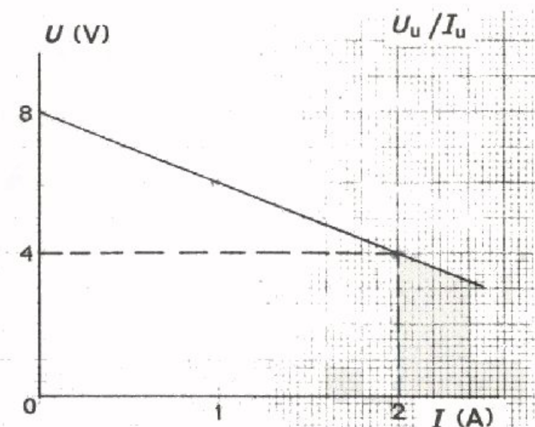
NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN

1. Van een voedingsbron is gemeten, de uitgangsspanning U_u bij uiteenlopende waarden van de belastingsstroom I_u.

De meetresultaten zijn uitgezet in een zogenaamde belastingskarakteristiek zoals hiernaast is afgebeeld.

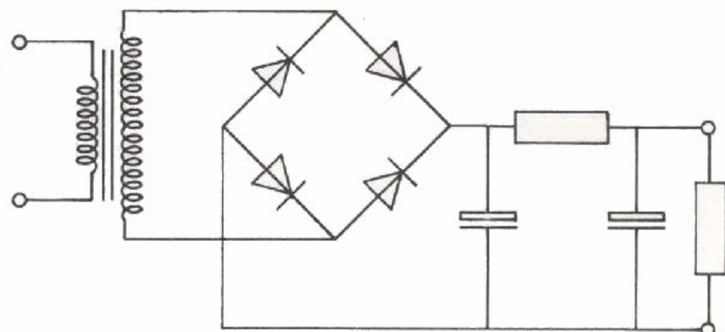


Bepaal uit deze karakteristiek de uitgangsweerstand R_u van de voeding.

R_u = Ω

2. Deze voedingsschakeling bevat een **enkelzijdige/dubbelzijdige** gelijkrichter.

Bij meting blijkt de rimpelspanning 50 Hz te zijn.



Wat kan er aan deze schakeling defect zijn?

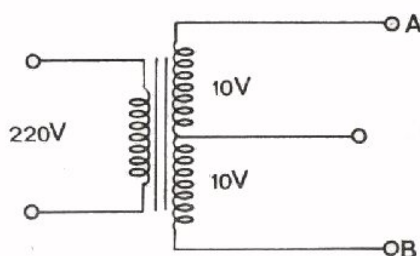
o de voedingstransformator,

o één van de dioden,

o de buffercondensator,

o het afvlakfilter

3. We hebben een voedingstransformator zoals hiernaast is weergegeven.



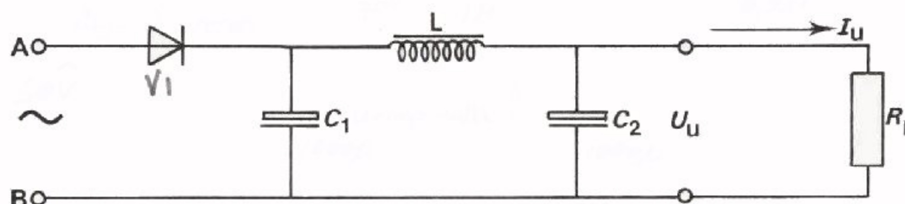
We schakelen achter de punten A en B achtereenvolgens:

1. Een enkelzijdige gelijkrichter.
2. Een dubbelzijdige gelijkrichter. (Met 2 dioden)
3. Een Graetzschakeling.

Hoeveel gelijkspanning ontstaat er achter de gelijkrichters?
(Men mag hierbij aannemen dat de gelijkrichters onbelast zijn)

U_{U1} = [V] U_{U2} = [V] U_{U3} = [V]

4. Van onderstaande netspanningsvoeding is gegeven: C_1 = 1000 µF, L = 1 H, C_2 = 1000 µF, U_{abt} = 50 V, I_U = 200 mA.



- Bereken de rimpelspanning over C_1. U_{c1} = [V]

- Hoe groot is de rimpelspanning over C_2? U_{c2} = [mV]

- Bepaal U_U in onbelaste toestand. U_U = [V]

- Hoe hoog kan de spanning over de diode maximaal worden?

$U_{V(max)}$ = [V]

5. Een *LC*-afvlakfilter functioneert beter dan een *RC*-filter. Toch worden *RC*-filters het meeste toegepast.

Waarom?

C 19

V O E D I N G S S C H A K E L I N G E N I I
G E S T A B I L I S E E R D E V O E D I N G S S P A N N I N G E N

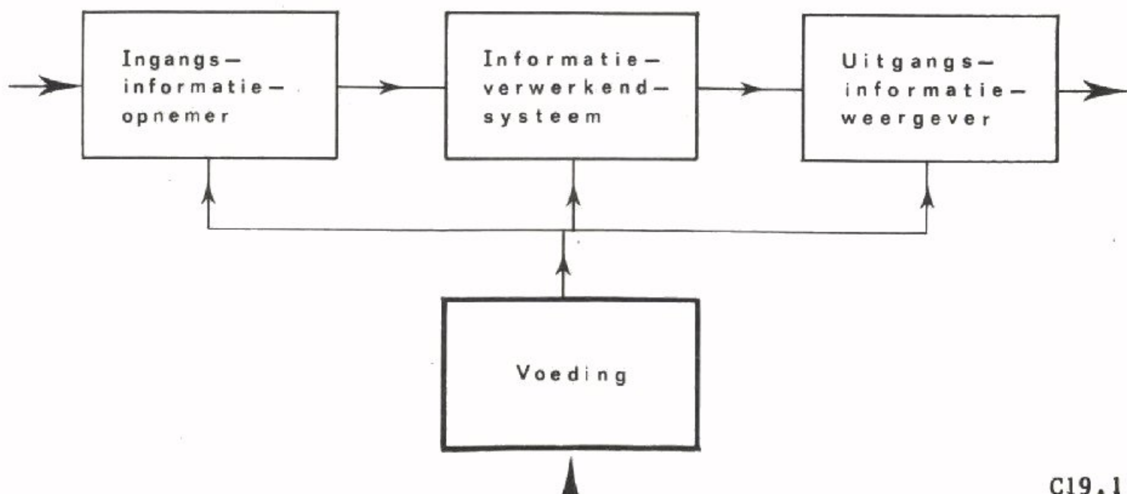
ENKELE PUNTEN UIT DE VORIGE LES

- In de voorgaande les hebben we de *on*gestabiliseerde netspanningsvoeding besproken.
- Een ongestabiliseerde netspanningsvoeding bestaat uit:
  - een gelijkrichter die meestal via een voedingstransformator met het lichtnet is verbonden.
  - een afvlakfilter bestaande uit een R en een C of uit een L en een C .
- De gelijkrichter maakt van de al- of niet getransformeerde netspanning een "gerimpelde" gelijkspanning. De afvlakschakeling zorgt ervoor dat de rimpelspanning sterk wordt verminderd. De voedingstransformator levert de gewenste wisselspanning(en) en voorkomt dat de gelijkrichter galvanisch is verbonden met het lichtnet.

KORTE INHOUD VAN DEZE LES

Aan de hand van de metingen in de vorige les hebt U geconstateerd, dat bij een ongestabiliseerde netspanningsvoeding de uitgangsspanning niet erg stabiel is. De uitgangsspanning varieert als de belastingsstroom of de waarde van de netspanning verandert.
In de praktijk heeft men vaak behoefte aan voedingsbronnen waarvan de uitgangsspanning bij veranderde omstandigheden wél constant blijft. Dit bereikt men door achter een ongestabiliseerde voeding een schakeling te plaatsen die de variërende gelijkspanning stabiliseert. De gehele schakeling noemt men dan een *gestabiliseerde voeding*.
Dit soort schakelingen gaan we in deze les behandelen.

DE PLAATS VAN DE VOEDING IN EEN ANALOOG SYSTEEM

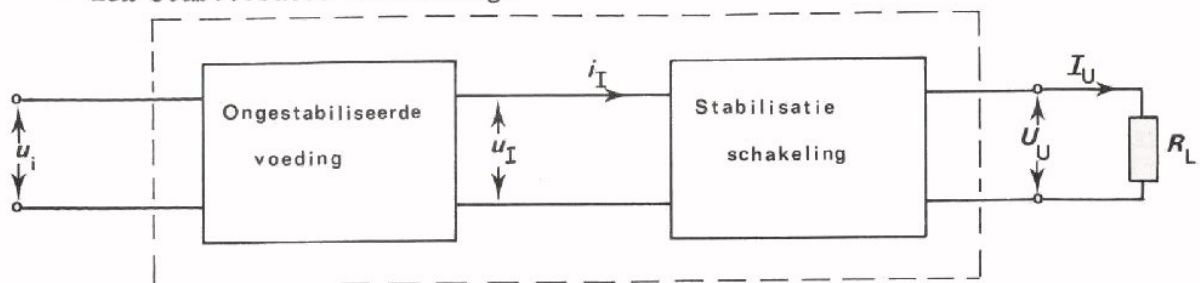


HET BLOKSCHEMA VAN EEN GESTABILISEERDE NETSPANNINGSVOEDING

Een gestabiliseerde netspanningsvoeding is opgebouwd uit:

- Een *ongestabiliseerde* netspanningsvoeding.

- Een *stabilisatie*-schakeling.



Het eerste blok is in de vorige les uitgebreid besproken. In deze les beperken we ons in hoofdzaak tot de stabilisatieschakeling.

In deze les zullen we de volgende notaties gebruiken:

u_i = de ingangswisselspanning (afgeleid van de netspanning).

u_I = de ongestabiliseerde uitgangsgelijkspanning (dit is de ingangsspanning van de stabilisatieschakeling).

i_I = de ingangsstroom van de stabilisatieschakeling.

U_U = de gestabiliseerde uitgangsgelijkspanning.

I_U = de belastingsstroom van de gestabiliseerde voeding.

R_L = de belastingsweerstand (deze vervangt de te voeden schakeling).

De gunstige eigenschappen van een gestabiliseerde voeding zijn:

- Een constante uitgangsspanning U_U, onafhankelijk van de belastingstroom I_U.
- Een constante uitgangsspanning U_U, onafhankelijk van de ingangsspanning u_i.
- Een zeer kleine rimpelspanning.

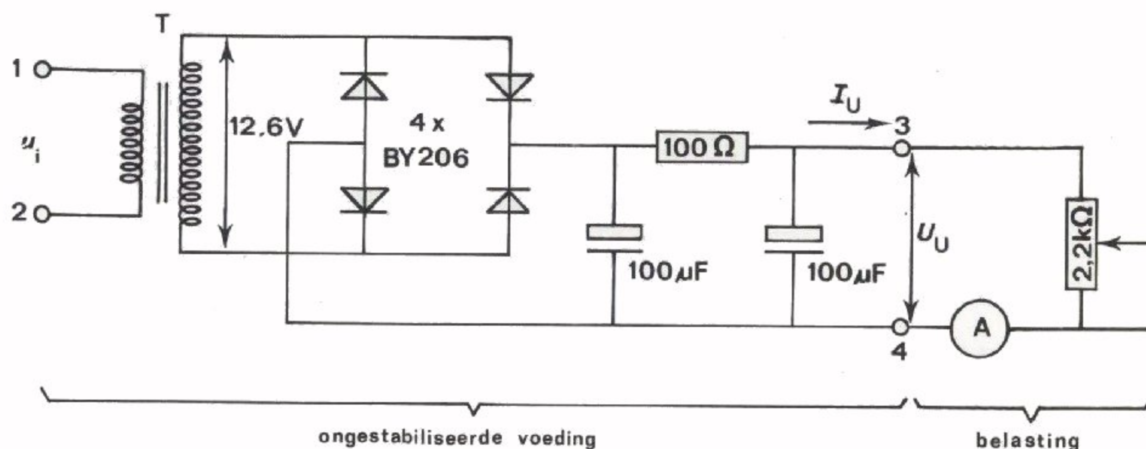
Deze goede eigenschappen gaan evenwel gepaard met een verlies aan vermogen. Het *rendement* van een gestabiliseerde voeding is dus altijd kleiner dan dat van de voeding zonder stabilisatie.

Om een zeer duidelijk beeld te krijgen van de voor- en nadelen van een gestabiliseerde voeding t.o.v. een ongestabiliseerde, gaan we in deze les als volgt te werk:

- Op het volgende blad gaan we eerst nog eens aan een ongestabiliseerde voeding meten.
- Daarna bouwen we achter deze voeding een stabilisatieschakeling, en meten de eigenschappen van het geheel.
- Tenslotte vergelijken we de meetresultaten van de ongestabiliseerde- met die van de gestabiliseerde voeding.

OPDRACHT: EEN ONGESTABILISEERDE VOEDING MET EEN GRAETZSCHAKELING

- Bouw de volgende schakeling op Uw paneel.
- Verbind de primaire van de voedingstransformator via een variac met het lichtnet. Regel de variac tot de spanning tussen de punten 1 en 2 220 V is.



De secundaire spanning (12,6 V) wordt aan de Graetzschakeling gelegd.

- Schakel tussen de punten 3 en 4 een oscilloscoop en een gelijkspanningsmeter. De potentiometer vormt de belasting. Met de A-meter wordt de uitgangsstroom bepaald.
- Meet de uitgangsspanning U_U bij de volgende uitgangsstromen. (regel I_U met de potentiometer).

I_u (mA)	0	10	20	30
U_U (V)				

* Laat de potentiometer in deze stand staan.

Zet de meetresultaten uit in een grafiek op blad 4.

- Meet U_U achtereenvolgens bij een ingangsspanning (u_i) van 220 V - 10% en bij 220 V + 10%. (regel u_i met de variac).

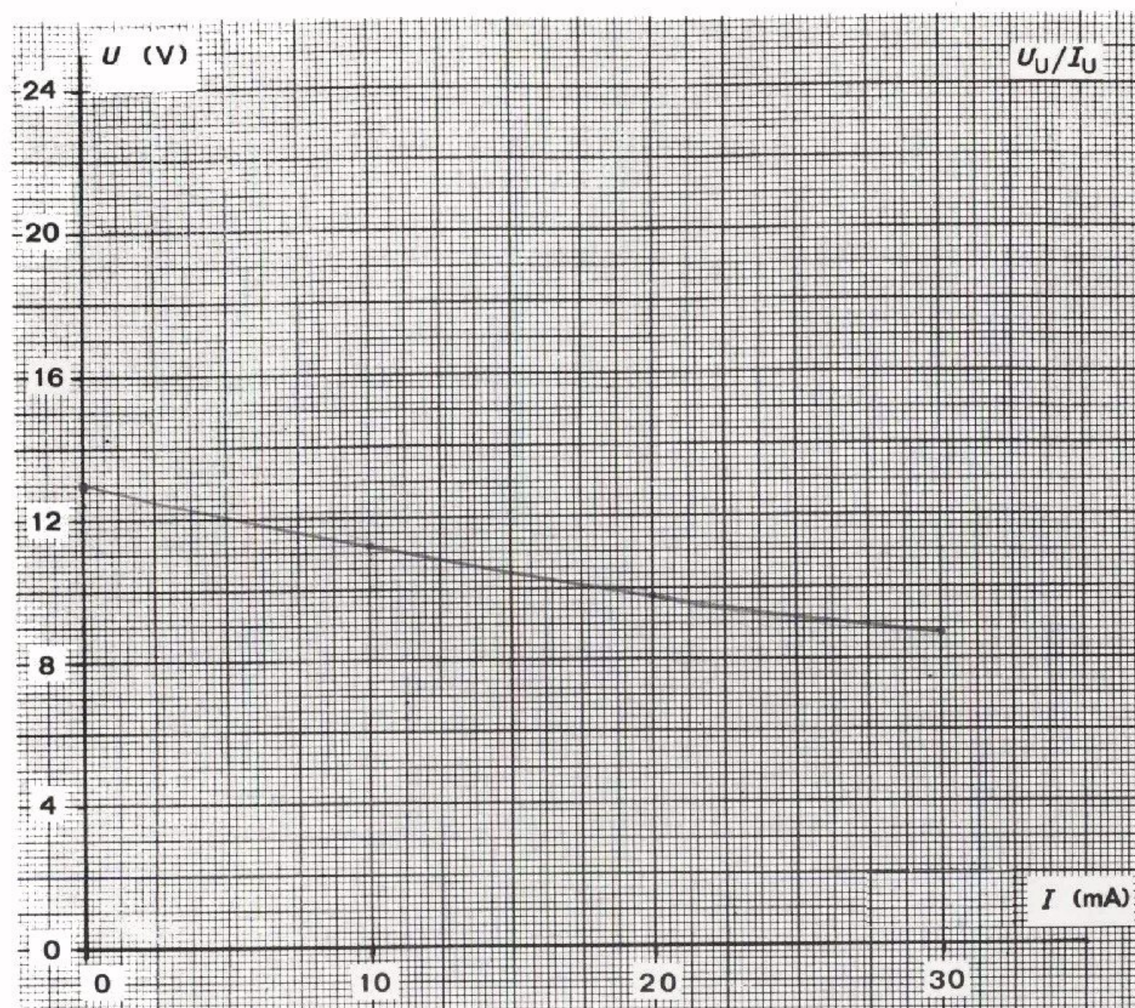
U_U ($U_{i(eff)}$ = 200 V) = [V], U_U (bij $U_{i(eff)}$ = 240 V) = [V]

- Regel de variac weer terug op 220 V en meet dan de rimpelspanning tussen de punten 3 en 4.

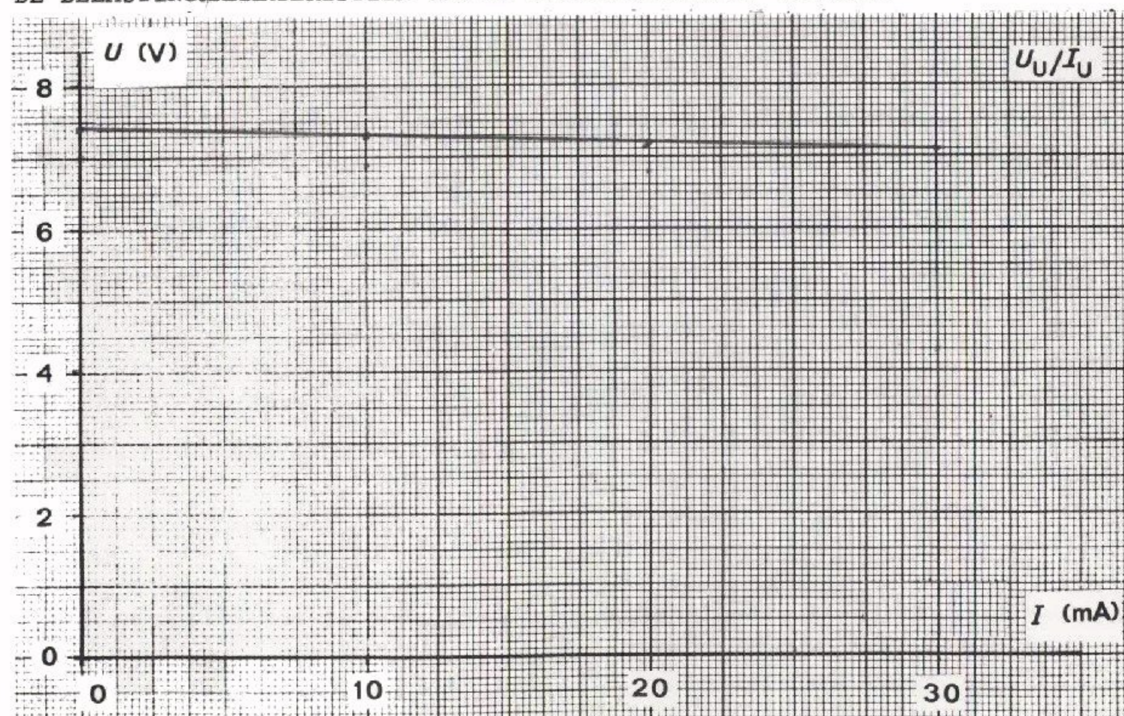
U_{tt} = [mV]

- Schakel de voedingsspanning uit; breek de schakeling niet af.

DE BELASTINGKARAKTERISTIEK VAN DE ONGESTABILISEERDE VOEDING

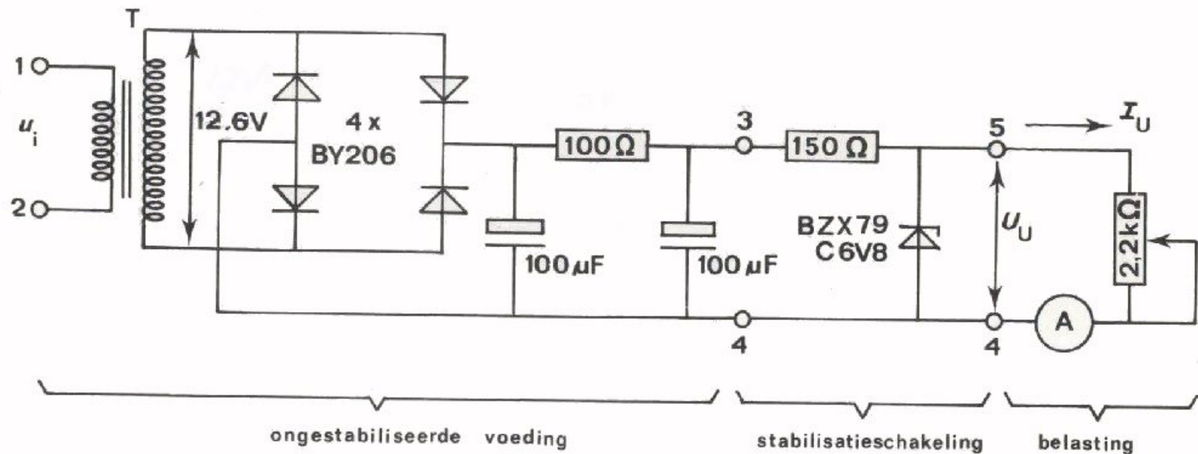


DE BELASTINGKARAKTERISTIEK VAN DE GESTABILISEERDE VOEDING.



OPDRACHT: HET METEN AAN EEN GESTABILISEERDE VOEDING

- Breid de schakeling uit met een stabilisatieschakeling zoals hieronder is weergegeven.



- Schakel tussen de punten 5 en 4 een oscilloscoop en een gelijkspanningsmeter. De potentiometer van 2,2 kΩ vormt de belasting. Met de A-meter wordt de uitgangsstroom gemeten.

- Regel de uitgangsspanning U_U bij de volgende uitgangsstromen. (regel I_U met de potentiometer).

I_U (mA)	0	10	20	30 *
U_U (V)				

* Laat de potentiometer in deze stand staan.

Zet de meetresultaten uit in een grafiek op blad 4.

- Meet U_U achtereenvolgens bij $U_{i(eff)}$ = 220 V - 10% en bij $U_{i(eff)}$ = 220 V + 10%. (Regel u_i m.b.v. de variac).

U_U(bij 200 V) = [V] , U_U (bij 240 V) = [V]

- Regel de variac weer terug op 220 V en meet dan de rimpelspanning tussen de punten 5 en 4.

U_{tt} = [mV]

- Schakel de voedingsspanning uit; breek de schakeling niet af.

Op de volgende pagina gaan we de meetresultaten van de opdrachten 1 en 2 nader onder de loep nemen.

CONCLUSIES UIT DE VORIGE OPDRACHTEN

- De uitgangsweerstand.

- De uitgangsspanning van de ongestabiliseerde voeding varieert aanzienlijk als de uitgangsstroom verandert. Bij een I_U-verandering van 0 tot 30 mA varieert de U_U van [V tot V]

  De uitgangsweerstand van de ongestabiliseerde voeding is dus:

  R_U = [Ω]

- Bij een gestabiliseerde voeding is de verandering van de uitgangsspanning door verandering van de belastingsstroom veel geringer.
  Bij een I_U-verandering van 0 tot 30 mA varieert de U_U van

  [V tot V]

  De uitgangsweerstand van de gestabiliseerde voeding is dus:

  R_u = [Ω]

- De stabilisatiefactor.

De verhouding van de procentuele netspanningsvariatie en de procentuele uitgangsspanningsvariatie noemt men de *stabilisatiefactor* "S".

$$S = \frac{\text{netspanningsvariatie (in \%)}}{\text{uitgangsspanningsvariatie (in \%)}}$$

- Bij onze ongestabiliseerde voeding is de uitgangsspanningsvariatie (in %) nagenoeg even groot als de netspanningsvariatie (in %). Ga dit voor jezelf na. De "S" is hier dus gelijk aan 1; m.a.w., een ongestabiliseerde voeding stabiliseert niet.

- Als we bij onze gestabiliseerde voeding de netspanning 20% veranderen

  varieert de uitgangsspanning [%]

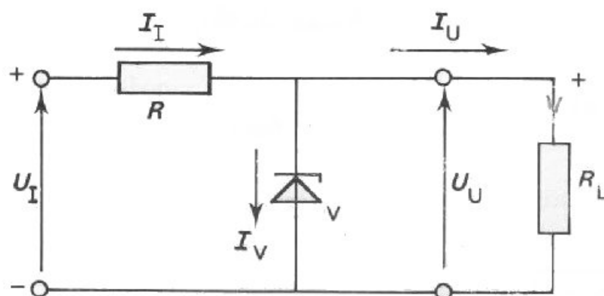
  De stabilisatiefactor is hier: S = [ ]

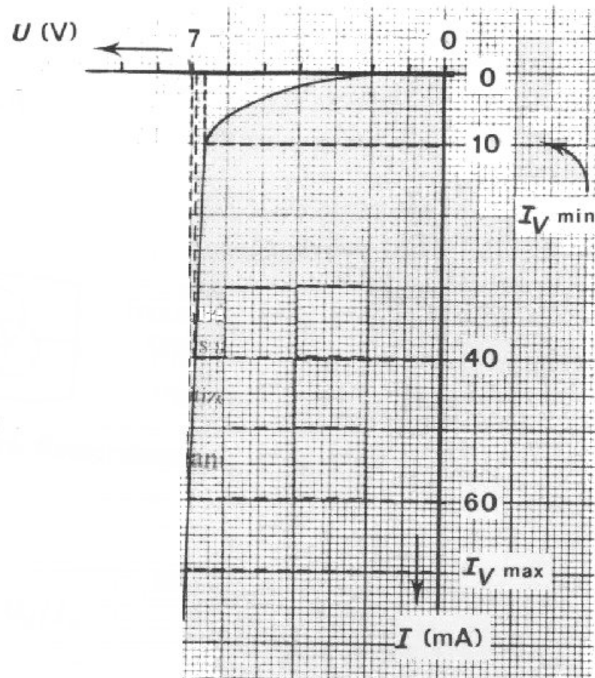
- De rimpelspanning.

De rimpelspanning van onze gestabiliseerde voeding is een factor [ ] kleiner dan die van onze ongestabiliseerde voeding.

Tegenover de opgesomde voordelen van de stabilisatieschakeling staat het vermogensverlies. Zowel in de weerstand van 180Ω als in de zenerdiode gaat relatief veel vermogen verloren. Het rendement van de gestabiliseerde voeding is dus aanzienlijk lager dan dat van onze ongestabiliseerde voeding.

HOE WERKT DE STABILISATIESCHAKELING ?





De stabilisatieschakeling waaraan we bij de laatste opdracht gemeten hebben bestaat uit een zenerdiode BZX79 in serie met een weerstand van 180Ω.

De diode heeft een zenerspanning van ca. 7 V. Deze diodespanning is tevens de uitgangsspanning U_U.
De weerstand van 180Ω is zó gekozen dat in onbelaste toestand ($I_U = 0$) de diodestroom I_V ca. 60 mA is; dus lager dan I_{Vmax}. (zie karakteristiek).

Belasten we de uitgang met R_L dan vloeit er een stroom I_U, bijv. 20 mA. Omdat de weerstand van 180 Ω groot is t.o.v. $R_V // R_L$, zal de toegevoerde stroom I_L nagenoeg 60 mA blijven. De toename van I_U veroorzaakt dus een even grote afname van I_V, immers $I_I = I_V + I_U$ en $I_V = I_I - I_U$.

Wordt I_U = 20 mA dan daalt I_V tot ca. 60 - 20 = 40 mA. Bij deze diodestroom blijft echter de diodespanning en dus ook de uitgangsspanning ongeveer 7 V. Bij nog grotere belasting mag de diodestroom dalen tot $I_{V(min)}$ voordat de diodespanning merkbaar verandert. We zien dus dat de uitgangsspanning binnen zekere grenzen onafhankelijk is van de belasting.

Wordt de ingangsspanning U_I kleiner dan daalt zowel I_I als I_V. Zolang de diodestroom echter hoger blijft dan $I_{V(min)}$, zal de uitgangsspanning op ca. 7 V gestabiliseerd blijven. Bij toename van de ingangsspanning U_I mag I_V niet hoger worden dan $I_{V(max)}$ omdat anders de warmteontwikkeling in de diode te groot wordt. De uitgangsspanning is dus nagenoeg onafhankelijk van netspanningsvariaties.

Bovenstaande stabilisatieschakeling noemt men een "schakeling met *"parallelregeling"* omdat het regelorgaan (de zenerdiode) *parallel* staat aan de belasting R_L. In plaats van een zenerdiode kan men ook andere spanningsstabiliserende componenten kiezen. Bij hogere spanningen gebruikt men vaak een VDR.

Er bestaan ook stabilisatieschakelingen met *serieregeling.*
Het regelorgaan zit dan in *serie* met de belasting. Op het volgende blad gaan we een stabilisatieschakeling met serieregeling behandelen.

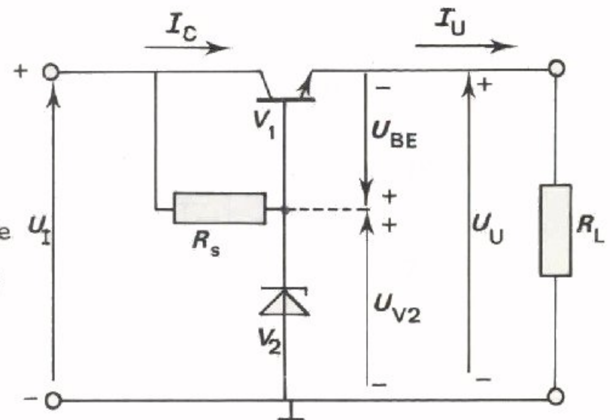
OEFENING

Hoe groot is in bovenstaande schakeling de maximale belastingsstroom bij $U_U \simeq 7$ V

$I_{U(max)} =$ [mA]

ANDERE SOORTEN STABILISATIESCHAKELINGEN

We hebben hiervoor een schakeling met *parallel*-regeling bekeken. We nemen nu een eenvoudige stabilisatieschakeling met *serie*-regeling onder de loep.



In deze schakeling is als regelorgaan een transistor gebruikt. Deze staat in *serie* met de belastingsweerstand R_L ($I_C = I_U$). De zenerdiode V_2 houdt de basis van de transistor op een constante spanning (U_{V2}) t.o.v. de min(aarde). De weerstand R_s zorgt ervoor dat door de zenerdiode voldoende stroom loopt.

Hoe werkt deze schakeling ?

De uitgangsspanning $U_U = U_{V2} - U_{BE}$. Ga dit na. Is bijvoorbeeld de zenerspanning 7 V en $U_{BE} = 1$ V dan is de uitgangsspanning $U_U = 7 - 1 = 6$ V.

Als t.g.v. een verandering van U_I of I_U de uitgangsspanning bijv. *lager* wordt, dan gebeurt het volgende:

U_{BE} wordt groter ($U_{BE} = U_{V2} - U_U$); U_{V2} blijft immers constant.
↓
Daardoor neemt I_C (= I_U) toe.
↓
Dan neemt ook $I_C \cdot R_L = U_U$ toe.
↓
De afname van U_U wordt dus ook tegengewerkt.

Wordt de uitgangsspanning U_U *hoger* dan gebeurt het omgekeerde:

U_{BE} wordt kleiner
↓
I_C neemt af, dus ook I_U
↓
U_U wordt kleiner
↓
De toename van U_U wordt verminderd.

De grootte van de uitgangsspanning wordt dus in hoofdzaak bepaald door de waarde van de zenerspanning.

U_U is ongeveer 1 V lager dan U_{V2}.

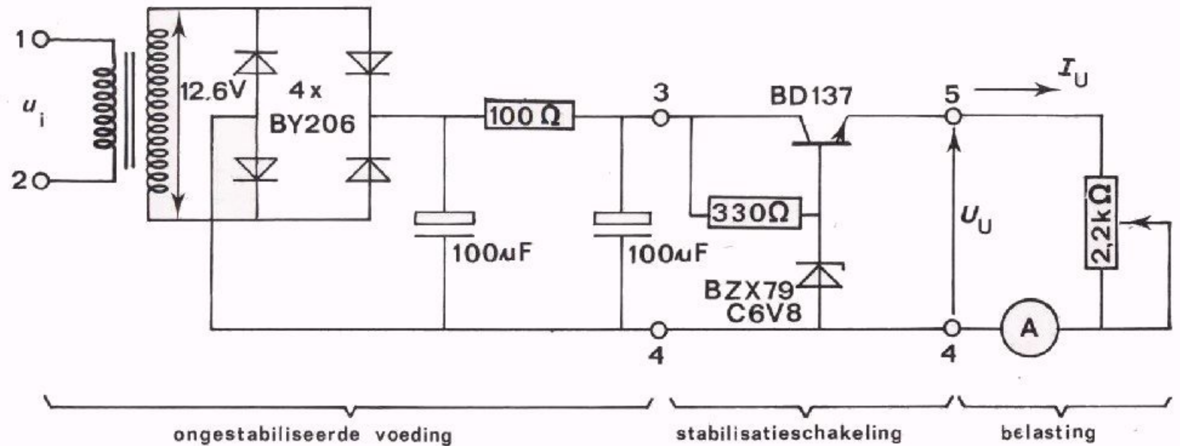
De maximaal af te nemen stroom hangt af van de eigenschappen van de transistor. De belastingsstroom I_U vloeit namelijk in zijn geheel door de transistor.

I_U mag dus nooit groter worden dan $I_{C\,max}$.

Voor V_1 gebruikt men meestal een vermogentransistor.

OPDRACHT: EEN STABILISATIESCHAKELING MET SERIE-REGELING

- Vervang de stabilisatieschakeling van de vorige opdracht door een stabilisatieschakeling met serie-regeling (zie hieronder).



- Schakel tussen de punten 5 en 4 een oscilloscoop en een gelijkspanningsmeter. De potentiometer van 2,2 kΩ dient als belasting. De A-meter geeft de waarde van I_U aan.
- Meet de uitgangsspanning U_U bij de volgende uitgangsstromen. (Stel I_U in met de potentiometer).

I_U (mA)	0	10	20	30 *
U_U (V)				

* laat de potentiometer in deze stand staan

Zet de meetresultaten uit in een grafiek op blad 11.

- Meet U_U achtereenvolgens bij $U_{i(eff)}$ = 220 V - 10% en bij $U_{i(eff)}$ = 220 V + 10%.

U_U (bij 200 V) = [V] , U_U (bij 240 V) = [V]

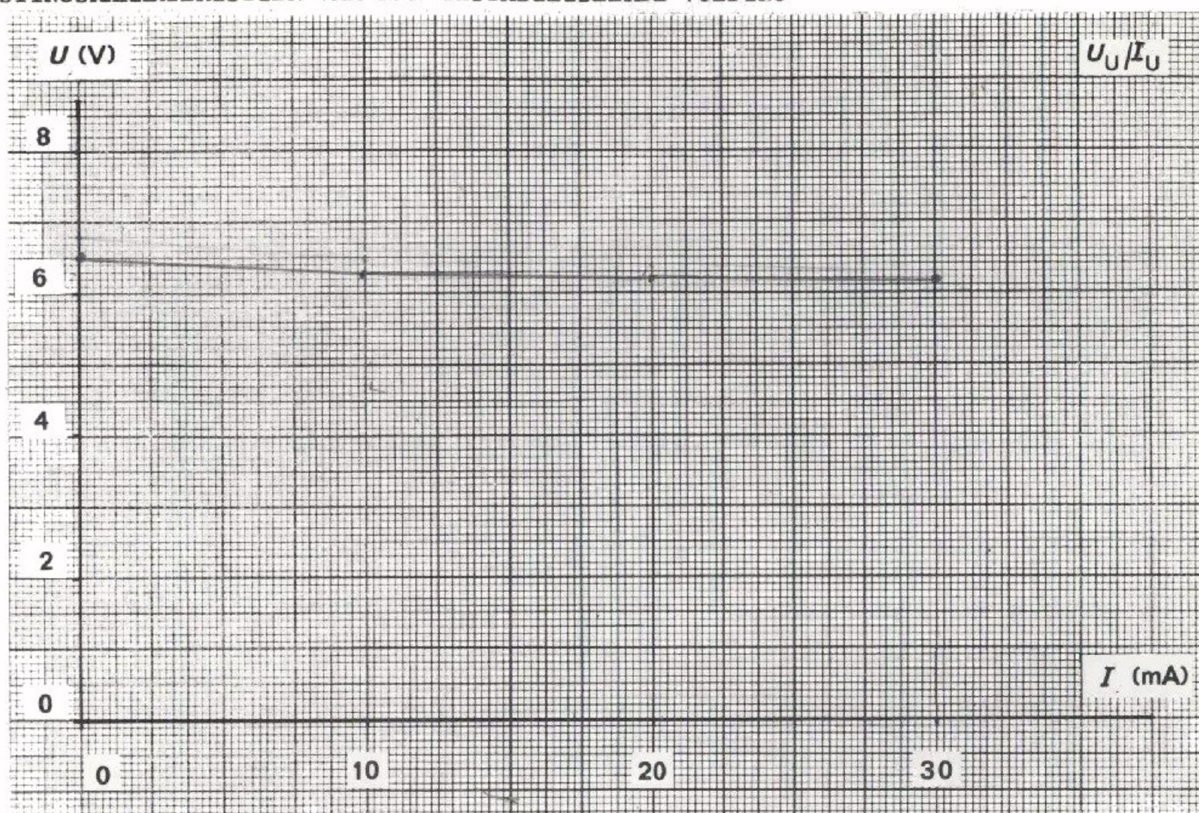
- Regel de variac weer terug op 220 V en meet dan de rimpelspanning tussen de punten 5 en 4.

U_{tt} = [mV]

- Schakel de voedingsspanning uit en breek daarna de schakeling af.

Op het volgend blad worden de meetresultaten nader bekeken.

BELASTINGSKARAKTERISTIEK VAN EEN GESTABILISEERDE VOEDING



CONCLUSIES UIT DE MEETRESULTATEN

Bereken uit de meetresultaten van pagina 10:

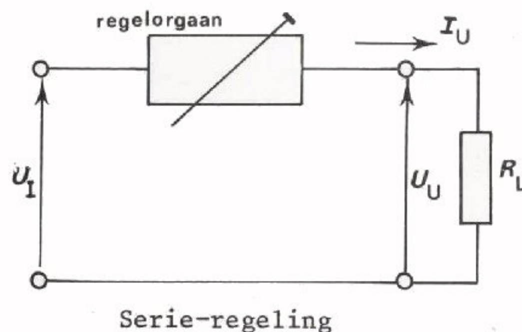
- De uitgangsweerstand R_u = [Ω]
- De stabilisatiefactor. S = [ ]

Verzamel in de volgende tabel de eigenschappen van de voedingsbronnen waaraan in de opdrachten 1, 2 en 3 is gemeten.

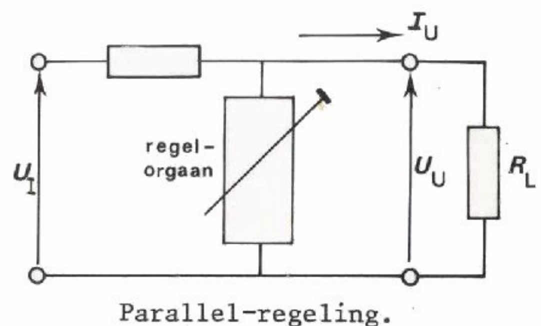
Eigenschappen	Voedingsbronnen van:		
	Opdracht 1.	Opdracht 2.	Opdracht 3
R_u			
S			
$U_{tt(rimpel)}$			

VERGELIJKING VAN SERIE- EN PARALLELREGELING

We hebben twee soorten stabilisatieschakelingen besproken: de serie- en de parallelregeling. Bij serieregeling staat het regelorgaan (bijv. een transistor) in *serie* met de belastingsweerstand; bij parallelregeling is het regelorgaan (bijv. een zenerdiode) *parallel* met de belastingsweerstand geschakeld.



Serie-regeling



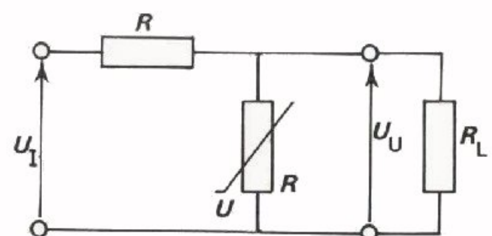
Parallel-regeling.

Beide regelingen komen in de praktijk voor.

- de parallelregeling met zenerdiode is goedkoper dan de serieregeling met transistor waarin meer onderdelen nodig zijn.
- de eigenschappen van een serieregeling zijn over het algemeen gunstiger dan die van een parallelregeling.
- De serieregeling is kwetsbaar bij overbelasting. Wordt bij serieregeling de uitgang kortgesloten, dan komt de hele ingangsspanning U_I het regelorgaan. Bovendien vloeit de kortsluitstroom in zijn geheel door het regelorgaan. De kans is groot dat het regelorgaan defect raakt ten gevolge van oververhitting. Voedingsbronnen met serieregeling worden dan ook dikwijls op de een of andere manier tegen overbelasting beveiligd. Hierop komen we in deze les nog terug.
- Wordt de uitgang van een parallelregeling kortgesloten dan valt zowel de spanning over, als de stroom door het regelorgaan weg. Het regelorgaan kan dus niet overbelast worden. Wèl wordt dan de warmteontwikkeling in de serieweerstand R veel groter dan normaal. Maar daar kan men rekening mee houden.
- Bij een schakeling met serie-regeling kunnen op eenvoudige wijze voorzieningen worden getroffen om de uitgangsspanning op gewenste waarden in te stellen. Op het volgende blad wordt dit uitgelegd.

OEFENING

Hiernaast is een stabilisatieschakeling afgebeeld waarin een VDR wordt toegepast.



We hebben hier te maken met een

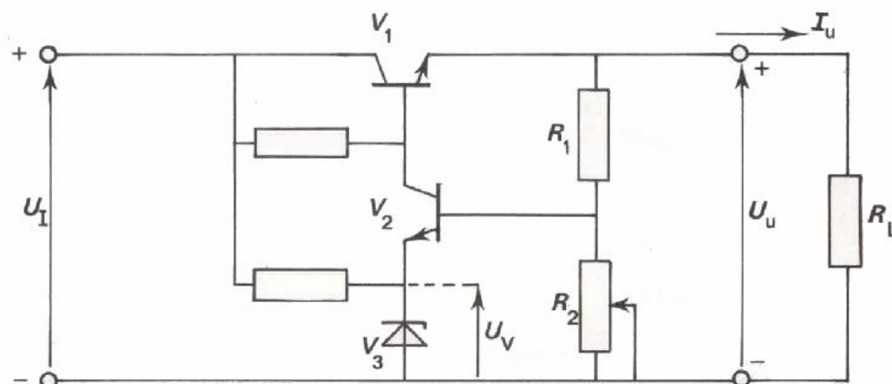
serieregeling/parallelregeling

STABILISATIESCHAKELING MET EEN REGELBARE UITGANGSSPANNING

Bij de stabilisatieschakelingen die we besproken hebben heeft de uitgangsspanning één bepaalde vaste waarde. De uitgangsspanning is ongeveer gelijk aan de zenerspanning van de gebruikte diode (zie blad 7 en 9). Dikwijls heeft men echter behoefte aan een gestabiliseerde voedingsbron waarvan de uitgangsspanning regelbaar is. Bedenk eens hoe dikwijls we in de opdrachten voedingsspanningen van uiteenlopende waarde nodig hebben ! We betrekken deze spanningen dan van een voedingsapparaat waarvan de uitgangsspanning regelbaar is en bovendien gestabiliseerd.

Hoe verkrijgen we een *regelbare* gestabiliseerde spanning ?

Bekijk eens rustig de volgende schakeling. We herkennen hierin het regelorgaan V1 in serie met de belastingsweerstand R_L. We hebben hier dus te doen met een **serie/parallel** -regeling.



De zenerdiode V_3 houdt de emitterspanning van V_2 op een constante waarde U_{V3}. In de praktijk is U_{BE} van V_2 klein t.o.v. U_{V3}. Hieruit volgt dat U_{R2} ongeveer gelijk is aan U_{V3}.

Uit de figuur zien we verder dat: $U_{R2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_U$

Dus: $U_V \simeq U_{R2} = U_U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ of $U_U \simeq U_{V3} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2} = U_{V3}(1 + \frac{R_1}{R_2})$

R_2 is een regelbare weerstand. Hiermee kan de uitgangsspanning tussen bepaalde grenzen worden geregeld. Bij deze schakeling kan de uitgangsspanning nooit groter worden dan U_I en nooit kleiner dan de waarde U_{V3}. (zie formule). Wil men een dergelijke schakeling regelen vanaf "0" volt, dan wordt het schema minder eenvoudig. We gaan hier niet verder op in.

OEFENING

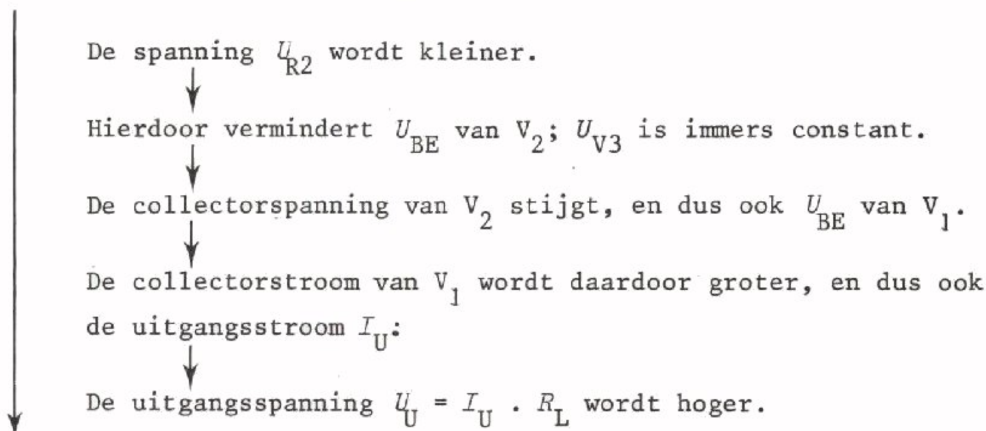
Van bovenstaande schakeling is:
$U_{V3} = 7$ V, $R_1 = 10$ kΩ en $R_2 = 5$ kΩ

Hoe groot is de uitgangsspanning ? $U_U \simeq$ [ ] V

HOE STABILISEERT DE SCHAKELING VAN PAGINA 13?

Met behulp van R_2 kan de uitgangsspanning op de gewenste waarde worden ingesteld. Is dit eenmaal gebeurd, dan wordt die spanningswaarde constant gehouden door de stabiliserende werking van de schakeling.

Als ten gevolge van een verandering van U_I of I_U de uitgangsspanning bijv. *lager* wordt, dan ontstaat de volgende situatie.



De aanvankelijke daling van U_U wordt tegengewerkt.

Wordt door de een of andere oorzaak de uitgangsspanning *hoger*, dan gebeurt het omgekeerde.

TOELICHTINGEN

In plaats van V_2 gebruikt men dikwijls een meertrapsversterker. Soms gebruikt men hiervoor een operationele versterker.
In plaats van de zenerdiode gebruikt men ook wel eens een batterij of een kleine accu. Deze behoeven toch geen stroom te leveren; ook niet als I_U groot is. Waarom niet ?

De transistor V_1 kan men in een praktische schakeling direct herkennen, omdat deze over het algemeen veel groter is dan V_2 en V_3. Waarom moet men voor V_1 meestal een grotere transistor gebruiken ?

Als bij de schakeling van blad 13 te veel stroom wordt afgenomen (bijv. als de uitgang per ongeluk wordt kortgesloten), raakt één van de componenten in de schakeling bijna zeker defect. Welk onderdeel is dit ?

BEVEILIGING TEGEN OVERBELASTING

In het voorgaande hebben we gezien dat het wenselijk is stabilisatieschakelingen met serieregeling te beveiligen tegen overbelasting en kortsluiting. Als beveiliging zou men het gebruik van een smeltveiligheid kunnen overwegen. In vele gevallen treedt overbelasting of kortsluiting echter zo plotseling op dat een smeltveiligheid te traag is om beschadiging van de apparatuur te voorkomen. Daarom worden vaak elektronische beveiligingssystemen toegepast. Dergelijke beveiligingsschakelingen kunnen op verschillende manieren functioneren. We zullen de meest gebruikelijke methoden bespreken.

Beveiliging door *blokkering*.

Bij overschrijden van de maximale belastingsstroom wordt het regelorgaan dat in serie met de belasting staat, geblokkeerd. De uitgangsspanning valt weg. Meestal zijn zulke schakelingen uitgerust met een uitwendig bedieningsorgaan waarmee de blokkering kan worden opgeheven. Het nadeel van deze manier van beveiligen is dat onmiddellijk na het opheffen van de blokkering de spanning opnieuw wegvalt als de overbelasting intussen niet is opgeheven. Het is dus onmogelijk het voedingsapparaat te gebruiken tijdens het opsporen van de oorzaak van de overbelasting in de schakeling die gevoed moet worden. Deze schakeling kan defect zijn waardoor er teveel stroom wordt afgenomen van de voeding. We kunnen dit defect niet door stroom- en spanningsmetingen opsporen omdat het voedingsapparaat "weigert" spanning te leveren zolang de belastingsstroom te groot is. In dit verband voldoet de volgende methode beter.

Beveiliging door *stroombegrenzing*.

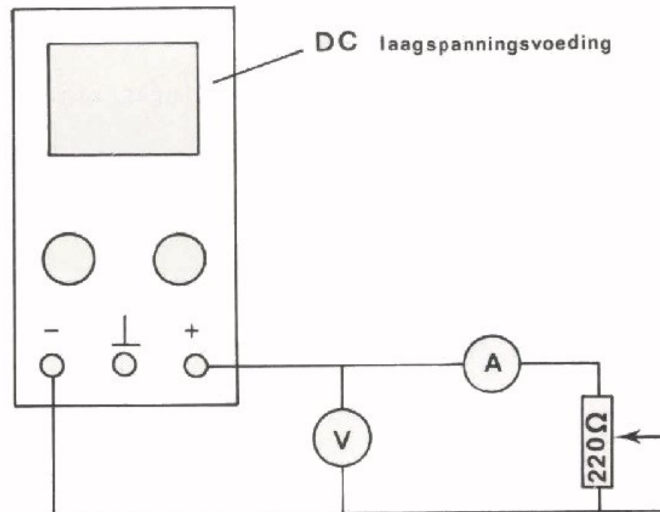
Bij overschrijden van een bepaalde belastingsstroom valt de spanning niet weg maar daalt zover dat de belastingsstroom niet verder toeneemt. Bij deze methode wordt de inwendige weerstand van het voedingsapparaat automatisch verhoogd zodra er overbelasting optreedt. De maximale belastingsstroom kan meestal binnen bepaalde grenzen ingesteld worden op iedere gewenste waarde. Wil de belastingsstroom groter worden dan de ingestelde I_{MAX} - waarde dan daalt de uitgangsspanning zóver dat de uitgangsstroom ongeveer gelijk wordt aan I_{MAX}.

Een stroombegrenzing beveiligt niet alleen de stabilisatieschakeling maar kan ook functioneren als beveiliging voor de schakeling die gevoed wordt. Als we bijv. een versterker willen voeden waarvan we meten dat deze normaal 100 mA opneemt, dan stellen we de I_{MAX} van de voeding in op bijv. 120 mA. De aan de versterker toegevoerde stroom kan nu niet groter worden dan 120 mA. Ook niet als ten gevolge van bijv. een foutieve handeling de stroom zoveel zou willen toenemen dat hierdoor de versterker defect zou raken. In dit geval beveiligt de stroombegrenzing van de stabilisatieschakeling de te voeden schakeling.

Op het volgend blad gaan we een overbelastings-beveiliging van een voedingsbron uitproberen.

OPDRACHT: DE OVERBELASTINGSBEVEILIGING VAN EEN GESTABILISEERDE VOEDING

- Maak een meetopstelling zoals hieronder is weergegeven. Monteer de potentiometer op Uw paneel.



- Regel de potentiometer op maximale weerstand.
- Schakel de voedingsbron in, en regel de uitgangsspanning op 10 V. Regel de stroombegrenzing op 100 mA.
- Maak nu de belastingsweerstand langzaam en regelmatig kleiner en houd daarbij de voltmeter en de ampèremeter goed in de gaten.
- De uitgangsstroom loopt eerst langzaam op.

  | van mA tot mA |.

  De uitgangsspanning | blijft constant/neemt toe/neemt af. |
- Bij verdere verkleining van de belastingsweerstand neemt de uitgangsstroom niet meer toe maar blijft | mA |

  De uitgangsspanning | blijft constant/neemt toe/neemt af |
- Bij kortgesloten uitgang is de uitgangsstroom | mA |

  De uitgangsspanning is dan | V |
- Herhaal deze metingen bij een willekeurige andere stand van de stroombegrenzing (bijv. bij I_{MAX} = 50 mA).
- Breek de schakeling af.

SAMENVATTING

- Kenmerken van gestabiliseerde voedingsbronnen zijn:
  - een stabiele uitgangsspanning.
    De uitgangsspanning is weinig afhankelijk van netspanningsvariaties en uitgangsstroom-veranderingen.
  - weinig rimpelspanning op de uitgang.
    De uitgangsspanning is nagenoeg een zuivere gelijkspanning.

- Belangrijke gegevens van gestabiliseerde voedingen zijn:
  - de uitgangsweerstand R_u:

    $$R_u = \frac{\text{uitgangsspanningsvariaties (V)}}{\text{uitgangsstroomvariaties (A)}}$$

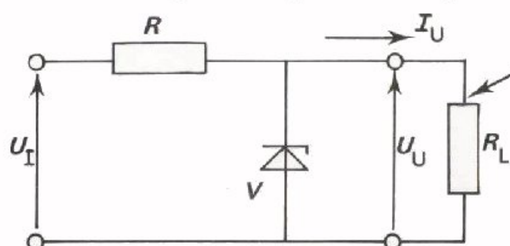
  - De stabilisatiefactor S of regelfactor:

    $$S = \frac{\text{netspanningsvariatie (\%)}}{\text{uitgangsspanningsvariatie (\%)}}$$

  De kwaliteit van een gestabiliseerde voeding is beter naarmate R_u kleiner is en S groter.

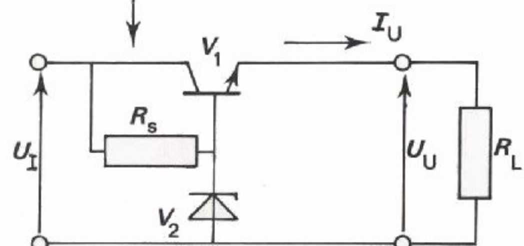
- Schakeltechnisch is een gestabiliseerde voeding opgebouwd uit een ongestabiliseerde voeding gevolgd door een stabilisatieschakeling.

- Stabilisatieschakelingen kan men verdelen in:
  - schakelingen met serieregeling.
  - schakelingen met parallelregeling.



$U_U = U_V$

$I_{U(MAX)} \simeq I_{V(MAX)}$



$U_U \simeq U_V$

$I_{U(MAX)} = I_{C(MAX)}$

- Schakelingen met serieregeling zijn in principe gevoelig voor overbelasting. Daarom heeft dit soort schakelingen dikwijls een beveiliging tegen overbelasting.

- Gelet op de werking van gangbare beveiligingsschakelingen hebben we twee methoden genoemd:
  - beveiliging door blokkering.
    De spanning valt weg bij overbelasting.
  - beveiliging door stroombegrenzing.
    De spanning daalt bij overbelasting. De stroom komt daardoor niet boven de maximumwaarde.

NAAM: ______ KLAS: ______

OEFENINGEN

1. Van een gestabiliseerde voeding is:

   - De uitgangsweerstand R_u = 0,1Ω
   - De stabilisatiefactor S = 100
   - De uitgangsspanning U_U = 10 V

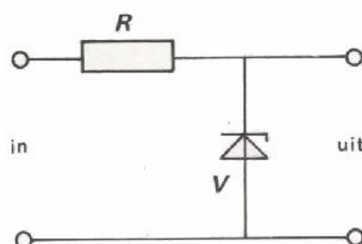
   Hoeveel verandert de uitgangsspanning als de belastingsstroom 100 mA toeneemt ?

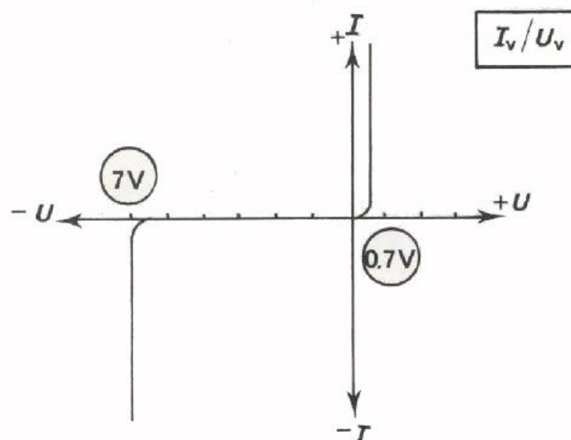
   U_U **stijgt/daalt** ______ V

   Hoeveel verandert de uitgangsspanning als de netspanning 5% lager wordt ?

   U_U **stijgt/daalt** ______ mV

2. In een montage-afdeling wordt een stabilisatieschakeling gemonteerd aan de hand van het volgende schema. R = 100Ω (½ W). De eigenschappen van de zenerdiode zijn in bijgaande grafiek weergegeven.





Per abuis wordt de zenerdiode verkeerd om gemonteerd. In de meetkamer controleert men de schakeling op goede werking. Men sluit een spanning van 12 V aan op de ingang.

Welke spanning zal men aan de uitgang meten ? U_U = ______ V

Wat gaat er nog meer fout ?

3. In deze schakeling is:

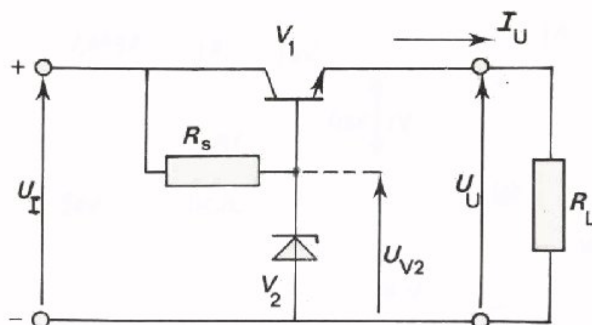
U_I = 20 V

U_{V2} = 11 V

U_{BE} = 1 V

R_L = 10Ω

R_s = 1 kΩ



De uitgangsspanning	U_U =	V
De uitgangsstroom	I_U =	A
De collectorstroom van de transistor	I_C =	A
De spanning over de transistor	U_{CE} =	V
Het in de transistor gedissipeerde vermogen	P_C =	W
De stroom door R_s :	I_{Rs} =	mA
Het aan de stabilisatieschakeling toegevoerde vermogen	P_I =	W
Het van de stabilisatieschakeling afgenomen vermogen	P_U =	W

4. In deze stabilisatieschakeling is:

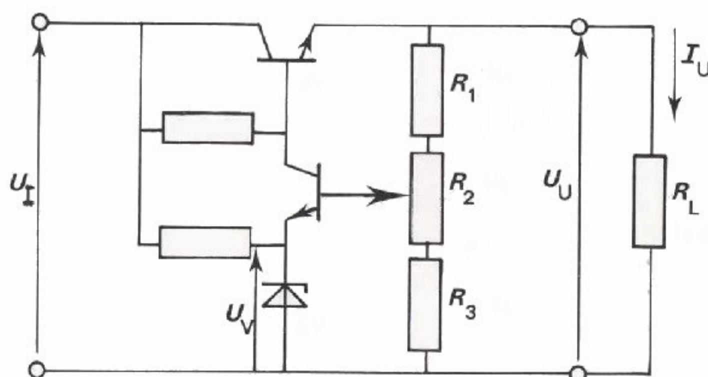
U_V = 6 V

R_1 = 2 kΩ

R_2 = 1 kΩ

R_3 = 1 kΩ

R_L = 100Ω



U_U kan worden ingesteld vanaf [V t/m V]

Als R_2 in het midden staat, is de stroom door R_L gelijk aan [mA]

C 20

VOEDINGSSCHAKELINGEN III
BIJZONDERE VOEDINGSSCHAKELINGEN

WAT HEBT U IN DE VOORGAANDE LESSEN OVER VOEDEN GELEERD ?

Voedingsschakelingen I gaat in hoofdzaak over ongestabiliseerde netspanningsvoedingen. We zijn tot de conclusie gekomen,dat deze nogal afwijken van de "ideale voeding". De uitgangsspanning is niet constant. Bij netspanningsschommelingen of bij belastingsvariaties verandert de uitgangsspanning in hetzelfde ritme. Bovendien is de uitgangsspanning geen zuivere gelijkspanning,maar bevat een niet-verwaarloosbare rimpelspanning.

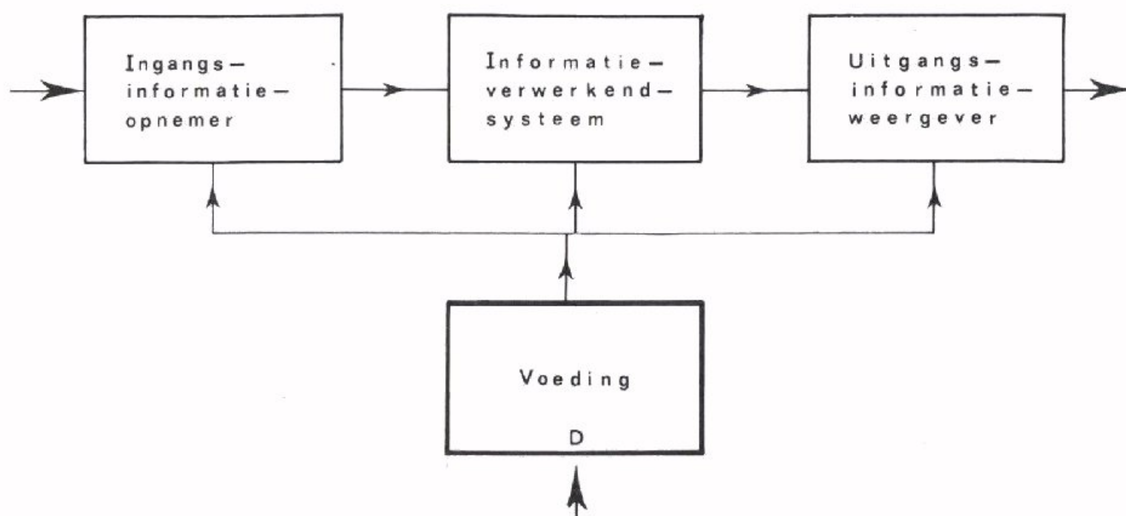
In *voedingsschakelingen II* hebt U gezien hoe men een ongestabiliseerde gelijkspanning kan stabiliseren. We hebben stabilisatie-schakelingen met serie- en parallelregeling besproken en aan de hand van opdrachten geconstateerd dat na stabilisatie de spanning binnen bepaalde grenzen nagenoeg constant blijft. De rimpelspanning van een gestabiliseerde voeding is klein. Stabiliseren kost echter nogal energie. De gestabiliseerde spanning is lager dan de ongestabiliseerde.

WAAR GAAT DEZE LES OVER ?

In deze les behandelen we enkele bijzondere voedingsschakelingen.
We bespreken achtereenvolgens:
- een gelijkrichter met spanningsverdubbeling
- een gelijkrichter met een drievoudige gelijkspanning
- driefasengelijkrichters
- een thyristorgelijkrichter
- gelijkspanningsomvormers (DC-DC-converters).

Tenslotte geven we enkele praktische tips,die bij het gebruik of de reparatie van voedingsapparaten van belang kunnen zijn.

DE VOEDING IN EEN ANALOOG SYSTEEM



SPANNINGSVERDUBBELING

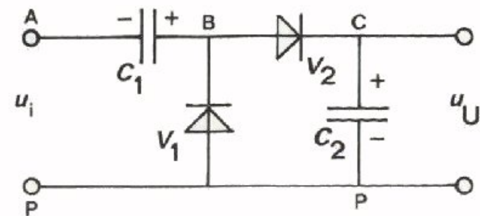
In C18 hebben we geleerd dat de uitgangsspanning van een gelijkrichter nooit hoger kan worden dan de topwaarde van de ingangswisselspanning. Bij gelijkrichting van de netspanning kan de gelijkspanning dus nooit hoger zijn dan $220 \times \sqrt{2} = 310$ V. Belasten we de gelijkrichter dan wordt de gelijkspanning zelfs aanzienlijk lager.

In voedingen voor elektronenbuizen die gelijkspanningen van 300 V of méér nodig hebben, kan men een *voedingstransformator* gebruiken. Hiermee transformeert men de netspanning op tot bijv. 400 V waarna gelijkrichting plaats vindt. Het gebruik van een voedingstransformator is echter weinig aantrekkelijk omdat deze in verhouding tot andere componenten groot, zwaar en duur is. Om *zonder* voedingstransformator toch een gelijkspanning te verkrijgen die aanzienlijk hoger is dan 310 V kan men gebruik maken van een zogenaamde *spanningsverdubbelings*-schakeling of *spanningsverdubbelaar*.

De schakeling bestaat uit:

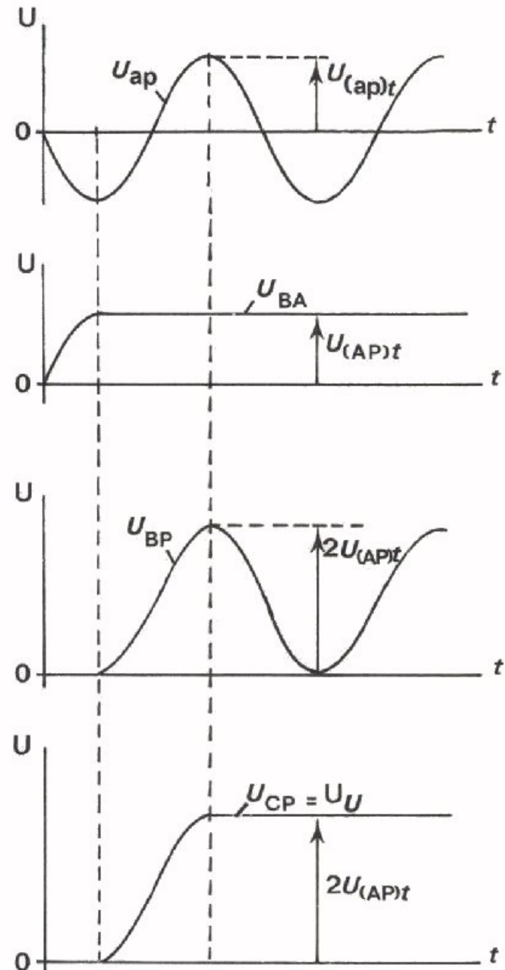
- twee dioden
- twee condensators.

Hoe werkt de schakeling ?



- Op de ingang A-P wordt een wisselspanning U_{ap} aangesloten, bijv. de netspanning.
- Vanaf het moment dat de spanning op punt P positief is t.o.v. punt A, wordt de condensator C_1 geladen tot de top-waarde van U_{ap}, via de diode V_1. Daarbij wordt punt B positief t.o.v. punt A.
- De spanning over diode V_1 en dus ook over de serieschakeling van V_2 en C_2, is gelijk aan de som van de ingangsspanning en de spanning over C_1 : $U_{BP} = u_{BP} + U_{BA}$.

  Op het moment dat punt A maximaal positief is t.o.v. punt P staat er over V_1 een spanning U_{BP} die gelijk is aan $2U_{(AP)}$; U_{BP} is steeds positief en beweegt zich tussen 0 V en $2U_{(AP)t}$. Via diode V_2 wordt C_2 opgeladen tot $2U_{(AP)t}$.



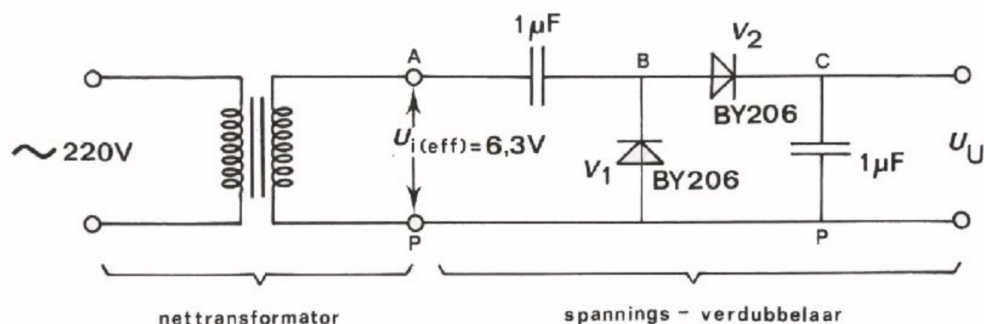
- De spanning U_{CP} over C_2 is tevens de uitgangsspanning.

$$U_U = 2.U_{(AP)t} = 2U_I$$

Op de volgende pagina gaan we deze schakeling uitproberen.

OPDRACHT: HET METEN AAN EEN SPANNINGSVERDUBBELAAR

- Monteer de volgende schakeling op Uw paneel.



- Verbind de ingang van de verdubbelaar met de 6,3 V-wikkeling van een nettransformator.

- Meet m.b.v. een oscilloscoop de topwaarde van de ingangswisselspanning u_i. U_{it} = [V]

- Bekijk de spanning over diode V_1 met de oscilloscoop in stand "DC". Vergelijk het beeld dat U ziet met de grafiek van U_{BP} op blad 2.

  De maximale spanning over diode V_1 is $U_{V(MAX)}$ = [V]

- Meet de uitgangsgelijkspanning. U_U = [V]

- De uitgangsspanning van de gelijkrichtschakeling is dus gelijk aan:

  U_U = [ ]

- Belast de uitgang van de spanningsverdubbelaar met een weerstand van 56 kΩ .

  Meet de rimpelfrequentie. f = [Hz]

  Verklaar waarom de rimpelfrequentie 50 Hz is in plaats van 100 Hz.

TOEPASSING VAN EEN SPANNINGSVERDUBBELING IN EEN OSCILLOSCOOP

In een moderne oscilloscoop heeft men voedingsspanningen van uiteenlopende grootte nodig. Lage spanningen voor het voeden van transistors; hogere spanningen voor de elektronenbuizen en zeer hoge spanning voor het voeden van de beeldbuis. Laatstgenoemde spanning zou men kunnen verkrijgen, door de netspanning flink omhoog te transformeren en daarna enkelzijdige of dubbelzijdige gelijkrichting toe te passen. Bij wisselspanningen boven 1000 V moet men de transformator evenwel bijzonder goed isoleren om doorslag te voorkomen. Het is vaak voordeliger de transformatorspanning minder hoog te maken en dan de gelijkrichter met *spanningsverdubbeling* te gebruiken.

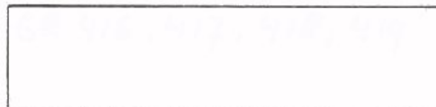
In dit schema is het voedingsgedeelte van een gangbare oscilloscoop afgebeeld.

De dioden GR406 t/m GR409 en GR411 t/m GR414 zijn als

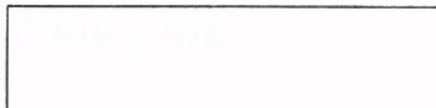
enkelzijdige/dubbelzijdige

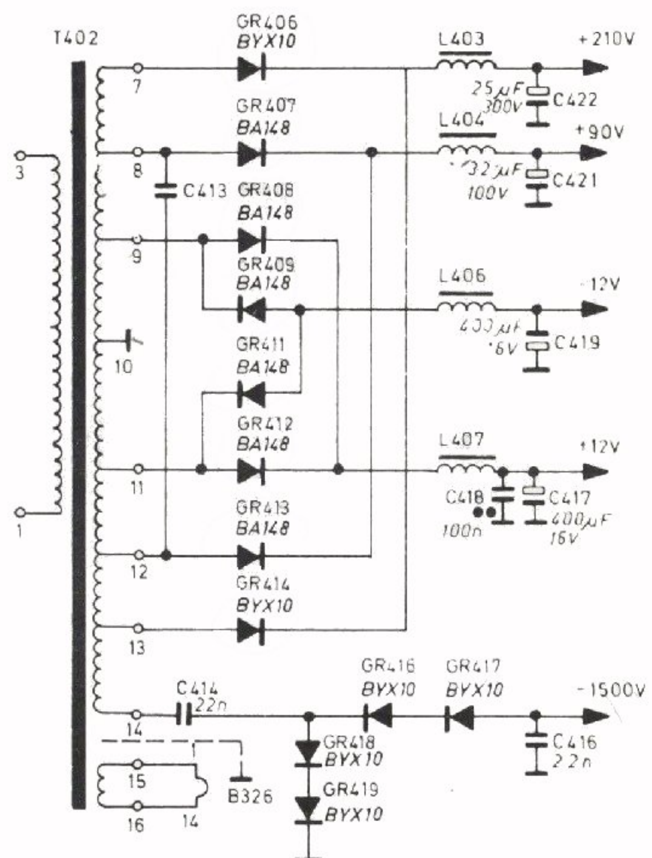
gelijkrichter geschakeld.

De gelijkrichter met spanningsverdubbeling bestaat uit de dioden:



en uit de condensators:





OPMERKINGEN

De dioden GR416, GR417, GR418, GR419 en ook GR409 en GR411 zijn andersom geschakeld dan we tot nu toe gewend waren. Dit is nodig om een *negatieve* gelijkspanning i.p.v. een *positieve* te verkrijgen. Bij de spanningsverdubbelaar zijn twee dioden in serie geschakeld omdat één diode zou doorslaan bij deze hoge spanning van 1500 V.

EEN GELIJKRICHTER MET EEN DRIEVOUDIGE GELIJKSPANNING

De spanningsverdubbelaar die we op pagina 2 hebben behandeld is in fig.a op een iets andere wijze nogmaals afgebeeld. (vergelijk deze tekening met die van pagina 2). We hebben gezien dat de gelijkspanning over C_1 gelijk is aan U_{it} en die over C_2 gelijk aan $2U_{it}$.

Als we de schakeling van fig.a uitbreiden met een diode V_3 en een condensator C_3 zoals in fig.b is weergegeven, ontstaat een gelijkrichter waarvan we een gelijkspanning van $3U_{it}$ kunnen afnemen. Hieronder zullen we uitleggen hoe dit tot stand komt.

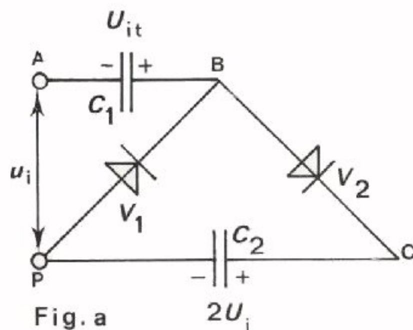


Fig.a

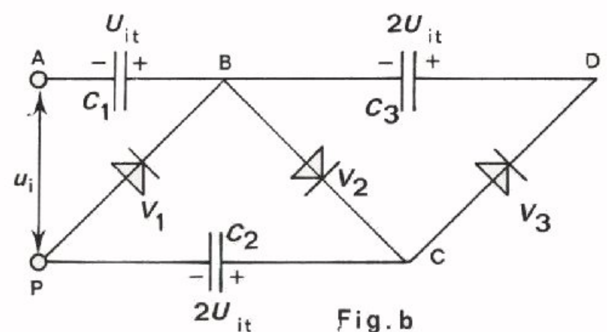


Fig.b

- Uit fig.b kan men zien dat de spanning over V_2 gelijk is aan:

  $u_{CB} = U_{CP} + u_{PB}$

  U_{CP} is een gelijkspanning van $2U_{it}$

  $u_{PB} = -u_{BP}$

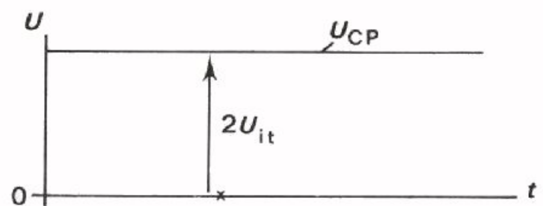
  u_{BP} is op pagina 3 afgebeeld

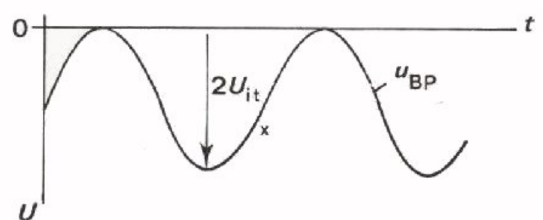
  u_{BP} is hiernaast weergegeven.

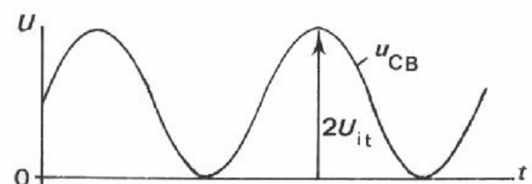
- Na optelling van U_{CP} en $-u_{BP}$ blijkt dat u_{CB} steeds positief is en zich beweegt tussen 0 V en $2U_{it}$. Via diode V_3 wordt C_3 opgeladen tot $2U_{it}$.

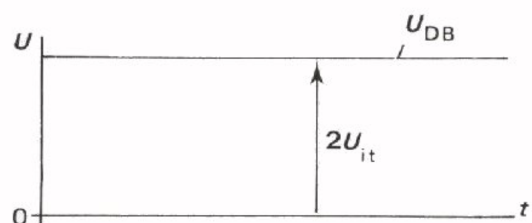
- De volgende voedingsspanningen zijn nu beschikbaar:

$U_{BA} = 1 \times U_{it}$
$U_{CP} = 2 \times U_{it}$
$U_{DA} = 3 \times U_{it}$



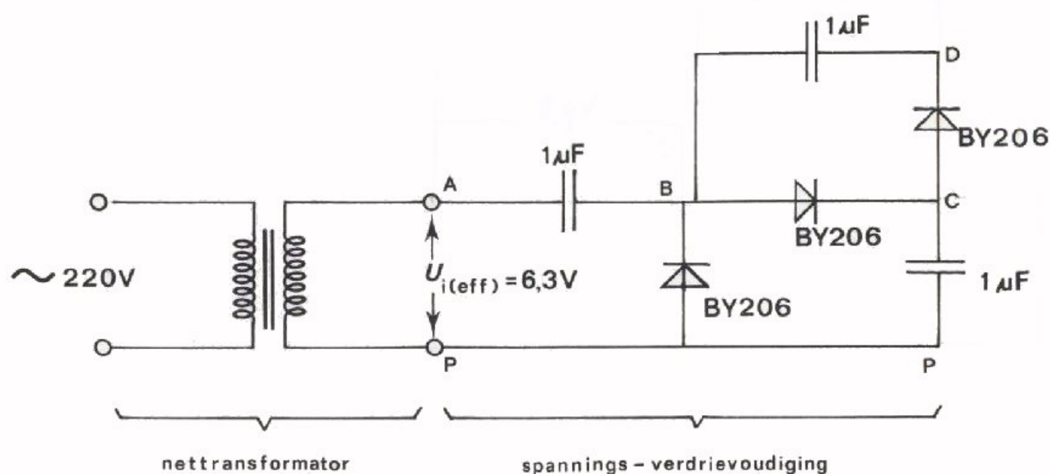






OPDRACHT: GELIJKRICHTER MET DRIEVOUDIGE GELIJKSPANNING

- Breid de schakeling van de vorige opdracht uit zoals hieronder is weergegeven.



- Meet met een oscilloscoop de topwaarde van de ingangswisselspanning.

U_{it} = [V]

- Meet achtereenvolgens met een gelijkspanningsmeter de gelijkspanningen U_{BA}, U_{CP}, U_{DB} en U_{DA}.

U_{BA} = [V]

U_{CP} = [V]

U_{DB} = [V]

U_{DA} = [V]

-Vergelijk de meetresultaten met de waarde van U_{it}

$U_{BA} \simeq$ [x U_{it}]

$U_{CP} \simeq$ [x U_{it}]

$U_{DB} \simeq$ [x U_{it}]

$U_{DA} \simeq$ [x U_{it}]

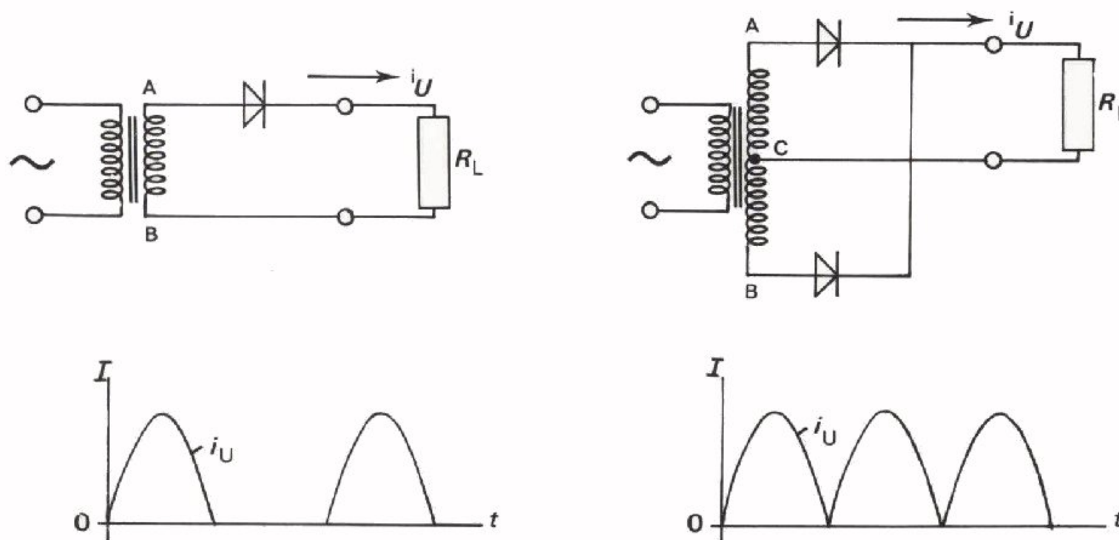
- Schakel de wisselspanning uit en breek de schakeling af.

GELIJKRICHTERS ZONDER BUFFERCONDENSATOR EN AFVLAKFILTER

In het voorgaande hebben we steeds beweerd dat de rimpelspanning van een netspanningsvoeding *altijd* zo klein mogelijk moet zijn. In veruit de meeste gevallen is dit waar. Bijvoorbeeld voor versterkers en oscillators moet de voedingsspanning *zuiver* zijn. Met buffercondensators en afvlakfilters wordt de rimpelspanning van netspanningsvoedingen tot een minimum beperkt.

Er zijn ook toepassingen waarbij geen hoge eisen worden gesteld aan de zuiverheid van de voedingsspanning. Bijv. het laden van een accu kan evengoed gebeuren met een pulserende gelijkspanning dan met een zuivere gelijkspanning. In dit geval kan men volstaan met een netspanningsvoeding *zonder* buffercondensator en afvlakfilter.

Hieronder zijn enkelzijdige en dubbelzijdige gelijkrichter *zonder* buffercondensator weergegeven. De stroom door de belastingsweerstand R_L "bestaat" dan uit halve sinussen.

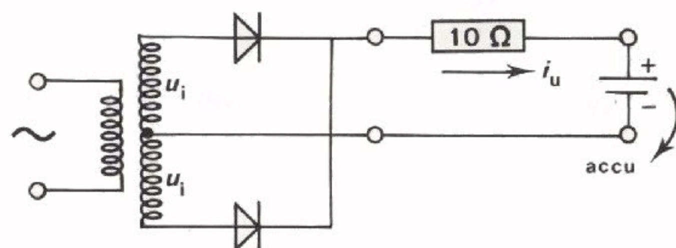


Bij enkelzijdige gelijkrichting vloeit er alleen stroom door R_L gedurende de tijd dat de spanning op punt A positief is t.o.v. B. Bij dubbelzijdige gelijkrichting geleidt V_1 als A positief is t.o.v. C, en V_2 positief is t.o.v. C. Dus beide zijden van de ingangswisselspanning veroorzaken stroom door R_L.

OEFENING

Een dubbelzijdige gelijkrichter is via een weerstand van 10Ω aangesloten op een accu. De ingangswisselspanning u_i heeft een topwaarde van 14 V. De accu-spanning is 11 V.

- Teken het verloop van de laadstroom.
- Hoe groot is de topwaarde van de laadstroom ? I_t = [mA]
- Hoe groot is de frequentie van de stroom-impulsen ? f = [Hz]

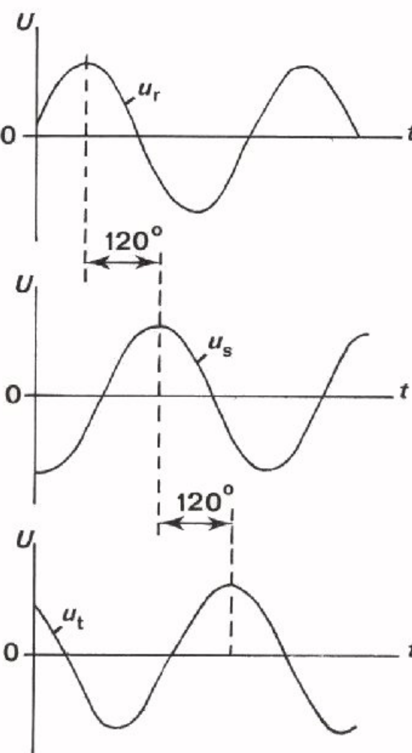


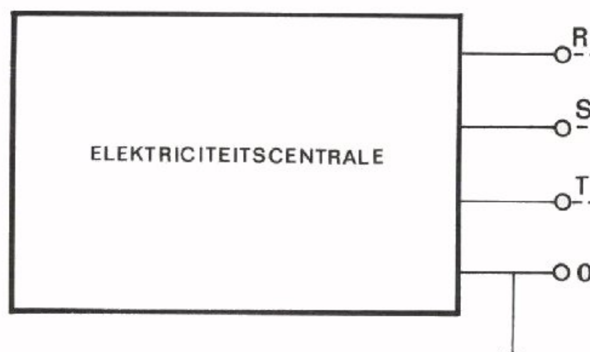


HET DRIEFASENNET

Tot nu toe zijn we bij netspanningsvoedingen steeds uitgegaan van één enkele spanning van 220 V. De elektriciteitscentrales, die voor onze stroomvoorzieningen zorgen, leveren echter op elk moment *drie* sinusvormige spanningen van 220 V, die onderling 120° in fase zijn verschoven. Deze spanningen worden aangevoerd via drie leidingen (de zogenaamde *fasen*) en één gemeenschappelijke *nulleiding*, die bij de centrale en ook op andere plaatsen is geaard. De fasen worden meestal aangegeven met de letters R, S en T.

Het is de bedoeling dat de drie fasen zo gelijkmatig mogelijk worden belast. Daarom worden apparaten die een zware belasting vertegenwoordigen, bijvoorbeeld motoren, verwarmingstoestellen maar ook grote gelijkrichters, met drie fasen gevoed. Kleine belastingen, zoals huishoudelijke apparaten worden tussen één fase en de nulleiding aangesloten.





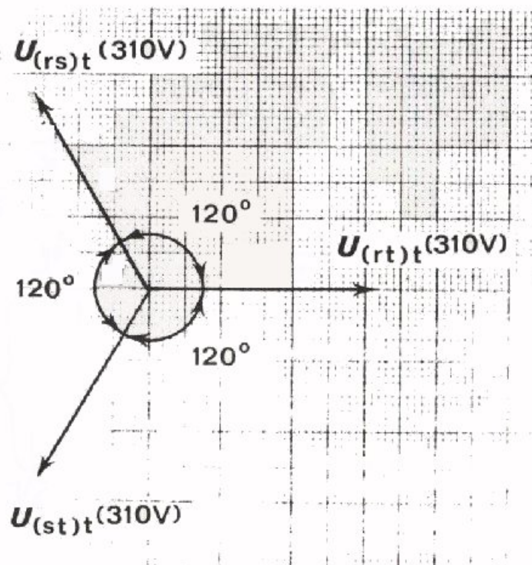
OEFENING

Hiernaast is het vectordiagram van de spanningen van een driefasennet getekend.

- Hoe groot is het spannings*verschil* tussen de fasen onderling ?

$U_{(rs)t} = U_{(st)t} = U_{(rt)t} =$ [   ] V

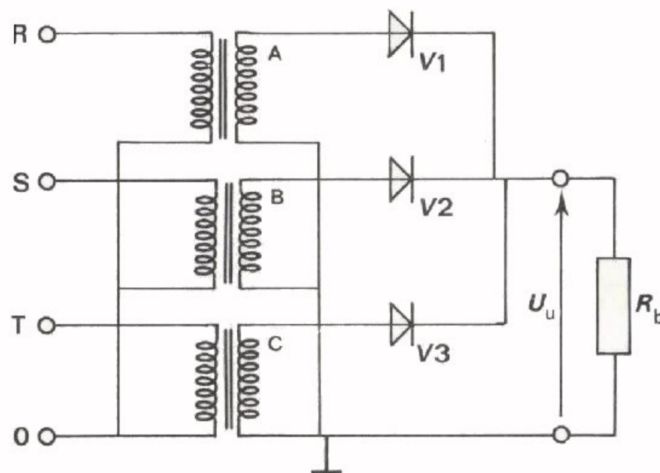
(Meet dit met een lineaal in het vectordiagram op).

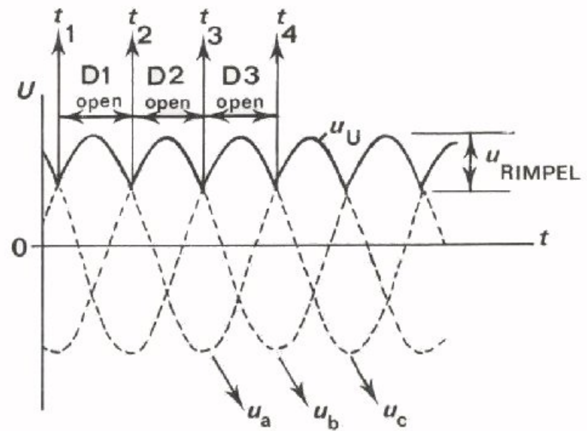


DRIEFASENGELIJKRICHTERS

Gelijkrichters voor grote vermogens (10 kW en meer) worden gevoed uit het driefasennet. We zullen merken dat deze methode ook voor kleine vermogens voordelen biedt.

Hieronder is een driefasenvoeding afgebeeld. De wisselspanningen u_r, u_s en u_t worden via drie nettransformators toegevoerd aan een gelijkrichtschakeling. In de praktijk wordt vaak één transformator toegepast. een speciale *driefasentransformator*. In de gelijkrichter is de buffercondensator weggelaten; we zullen laten zien dat deze ook niet nodig is.





De werking van de driefasengelijkrichter is als volgt:

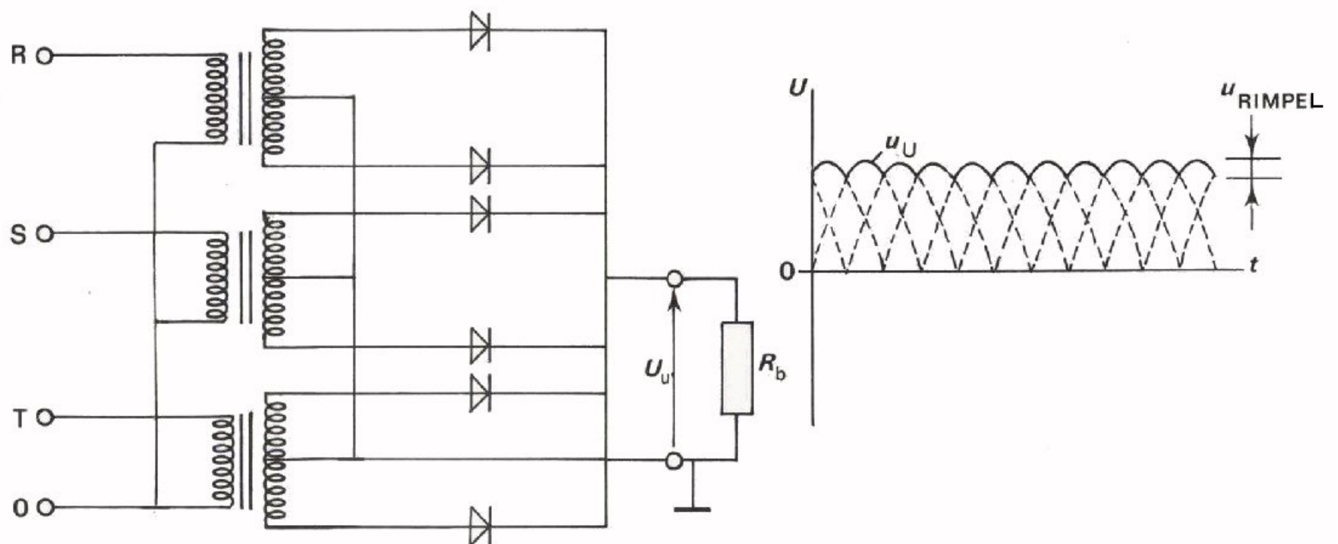
- Gedurende de tijd dat punt A positiever is t.o.v. aarde dan de punten B en C, geleidt de diode V_1 (tussen de momenten t_1 en t_2).
- Wordt vervolgens punt B positiever dan de punten A en C dan geleidt diode V_2 (tussen de momenten t_2 en t_3). Diode V_1 spert op dat moment omdat de bovenzijde van R_b nu positiever is dan punt A. Ook diode V_3 blijft gesperd.
- Wordt tenslotte punt C positiever dan A en B dan geleidt alléén diode V_3 (tussen de momenten t_3 en t_4).
- Door de belastingsweerstand R_L loopt beurtelings een stroom via V_1, V_2 of V_3.
- Over de belastingsweerstand ontstaat een pulserende gelijkspanning u_U. zoals in bovenstaande figuur door de getrokken lijn is weergegeven.

We zien dat bij deze driefasengelijkrichter *zonder buffercondensators* de rimpelspanning aanzienlijk kleiner is dan bij de gelijkrichtschakelingen van blad 8.

EEN DUBBELZIJDIGE DRIEFASENGELIJKRICHTER

Bij de driefasengelijkrichter volgens blad 11 wordt *enkelzijdige* gelijkrichting toegepast. Van elke fase wordt alleen de positieve top gebruikt.

Bij de driefasengelijkrichter die hieronder is afgebeeld wordt *dubbelzijdige* gelijkrichting toegepast. Van elke fase wordt zowel de positieve als de negatieve top gebruikt. De rimpelspanning bij dubbelzijdige gelijkrichting is aanzienlijk kleiner dan bij enkelzijdige gelijkrichting. Dit is gemakkelijk in te zien door de negatieve helft van de drie ingangsspanningen in gedachten "naar boven om te klappen" (zie figuur). De getrokken lijn geeft het verloop van de uitgangsspanning u_U weer.



Er zijn vele schakelmogelijkheden voor een dubbelzijdige driefasengelijkrichter. Bovenstaand schema is slechts één voorbeeld daaruit.

Wat zijn de voordelen van een driefasengelijkrichter ?

- Bij grote gelijkstroomvermogens wordt de belasting gelijkmatig verdeeld over de drie fasen van het net.
- Bij kleinere vermogens, bijv. 24 V - 10 A, profiteert men van de lage rimpelspanning en gebruikt men deze gelijkrichter *zonder afvlakking* als voeding voor relais, elektromagnetisch bediende kranen en ventielen. Men bespaart daarmee een dure afvlakinrichting.

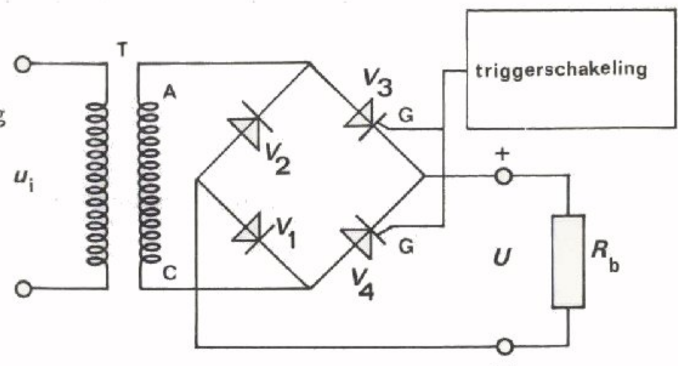
OEFENING

Hoe hoog is de rimpelfrequentie van de driefasengelijkrichter bij een net-frequentie van 50 Hz.

- Bij enkelzijdige gelijkrichting, f(rimpel) = [Hz]
- Bij dubbelzijdige gelijkrichting, f(rimpel) = [Hz]

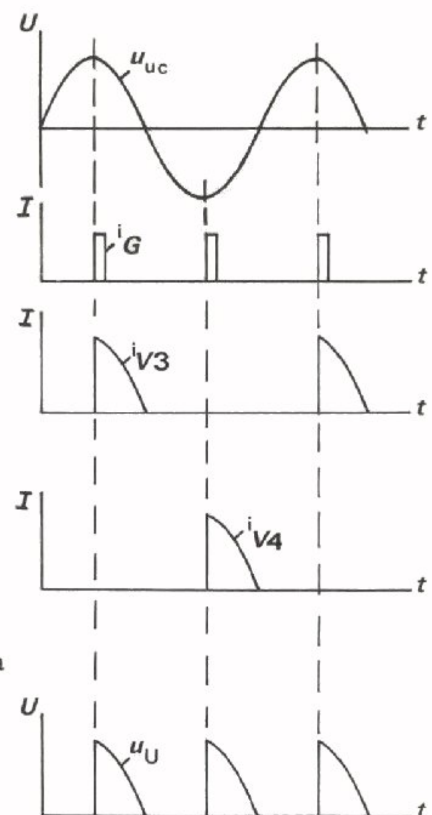
EEN THYRISTORGELIJKRICHTER

Thyristorgelijkrichters gebruikt men voor het regelen van gelijkstroomvermogens, bijvoorbeeld bij gelijkstroommotoren.



Een veel gebruikte schakeling is de Graetzschakeling. Het principe van de Graetzschakeling als gelijkrichter is in les C18 reeds uitgelegd. In nevenstaand schema komt de gelijkrichting tot stand m.b.v. twee gewone dioden V_1 en V_2 in combinatie met twee thyristors V_3 en V_4. Zoals we reeds weten is een thyristor een diode die in doorlaatrichting pas geleidend wordt nadat een triggerimpuls aan de "gate" (G) is toegevoerd.

De schakeling werkt als volgt:



- Als punt A positief is t.o.v. C vloeit er, vanaf het moment dat de triggerimpuls i_G aan V_3 wordt toegevoerd, een stroom door R_b. Deze loopt van punt A via V_3, R_b en V_1 naar punt C.

  (V_3 en V_1 staan dus in serie. Daarom is één thyristor in dit stroomcircuit voldoende. Dit geldt ook voor het andere stroomcircuit $V_4 - V_2$).
- Een halve periode later, als punt C positief is t.o.v. A, vloeit er vanaf het moment dat V_4 wordt getriggerd weer een stroom door R_L. Deze loopt van punt C via V_4, R_L en V_2 naar punt A.
- Over de belastingsweerstand ontstaat een pulserende gelijkspanning u_U.

Door de triggerimpulsen in tijd te verschuiven kan men de gemiddelde spanning over R_L en dus het vermogen in de belasting regelen. Vermogensregelingen m.b.v. thyristors is zo aantrekkelijk, omdat voor het regelen zelf (het open- en dicht sturen van de thyristors), bijna geen vermogen nodig is.

OEFENING

Hoe groot is in bovenstaand geval de gemiddelde spanning over R_L als U_{UT} = 100 V?

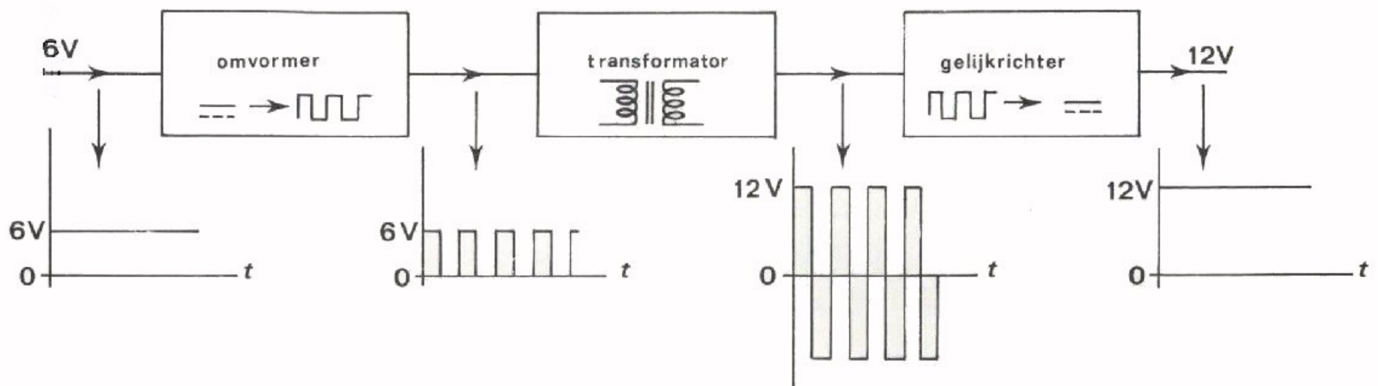
U_{GEM} = [V]

GELIJKSPANNINGSOMVORMERS

Als er een hoge gelijkspanning nodig is, terwijl men slechts beschikt over een lage gelijkspanning, dan kan gebruik gemaakt worden van een *gelijkspanningsomvormer*.

Een voorbeeld uit de praktijk is de gelijkspanningsomvormer, die men gebruikt om een 12 V - autoradio te voeden uit een 6 V - accu. Zo'n kastje vormt de 6 V - gelijkspanning om in een 12 V - gelijkspanning. Vandaar de naam "gelijkspanningsomvormer" of in het engels "DC-DC-converter" (uitspraak: disi-disi-konvurtur).

We bespreken hier alleen het blokschema van zo'n converter.



In principe werkt de schakeling als volgt:

- De *omvormer* aan de ingang zet de gelijkspanning om in een blokvormige pulserende gelijkspanning van 6 V. (Omvormers komen verderop in deze cursus nog ter sprake).
- De *transformator* maakt van deze pulserende gelijkspanning een blokvormige wisselspanning met een topwaarde van 12 V. De transformator zorgt ervoor dat de gelijkspanningscomponent van de ingangsspanning verdwijnt en de wisselspanningscomponent opgetransformeerd wordt.
- De *gelijkrichter* zet de 12 V - wisselspanning om in een gelijkspanning van 12 V.

In het kort gezegd komt de werking op het volgende neer:

- Maak van de gelijkspanning een wisselspanning
- Transformeer deze naar een hogere waarde
- Maak er weer een gelijkspanning van.

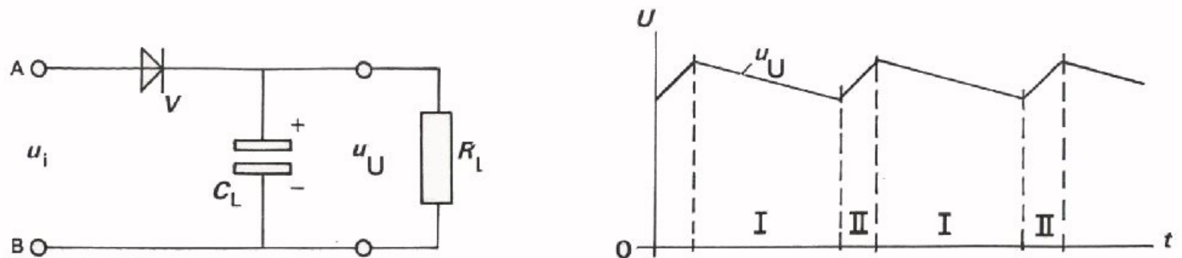
OEFENING:

Bovenstaande 6 V ⟶ 12 V - converter wordt aan de uitgang belast met 2 A.

- Het door de converter geleverde vermogen is P_U = 24 W
- De *ingangs*stroom moet tenminste zijn: $I_{I(min)}$ 4 A

AAN WELKE SPECIALE EISEN MOET EEN GELIJKRICHTDIODE EN EEN BUFFERCONDENSATOR VOLDOEN ?

Hieronder is nogmaals een enkelzijdige gelijkrichter getekend. Tevens is het verloop van de uitgangsspanning u_U afgebeeld.



Aan welke eisen moet de gelijkrichtdiode voldoen ?

- Zoals we weten wordt gedurende periode I de buffercondensator C_L ontladen via de belastingsweerstand R_L. Dit ladingsverlies wordt gedurende periode II geheel aangevuld via de gelijkrichtdiode V.
  Dus: toegevoerde lading = afgevoerde lading

  of: $i_V \times t_{II} = i_{RL} \times t_I$

  daar $t_{II} < t_I$ is $i_V > i_{RL}$

De diode moet dus in staat zijn gedurende korte tijden stromen te voeren, die veel groter zijn dan de uitgangsstroom i_{RL}. Bij de volgende opdracht zullen we deze *stroomimpulsen* meten.

- De condensator wordt geladen tot de topwaarde van de ingangsspanning u_i. Op het moment dat A maximaal *negatief* is t.o.v. punt B, is de spanning over de diode dus $2U_{it}$. Ga dit voor jezelf na . De diode moet deze *spanning* kunnen verdragen.

Aan welke eisen moet de buffercondensator voldoen ?

- Een buffercondensator moet een grote *capaciteit* hebben. We weten immers dat bij dezelfde belasting de rimpelspanning kleiner wordt naarmate de capaciteit van de buffercondensator groter is. In de praktijk ligt de waarde tussen 10 μF en 1000 μF (1 mF). Bij deze hoge waarden is men aangewezen op *elektrolytische* condensators.

- De *bedrijfsspanning* van de buffercondensator moet een waarde hebben, die tenminste overeenkomt met de topwaarde van de ingangswisselspanning. Het is zelfs aan te raden elco's te gebruiken waarvan de bedrijfsspanning hoger ligt.

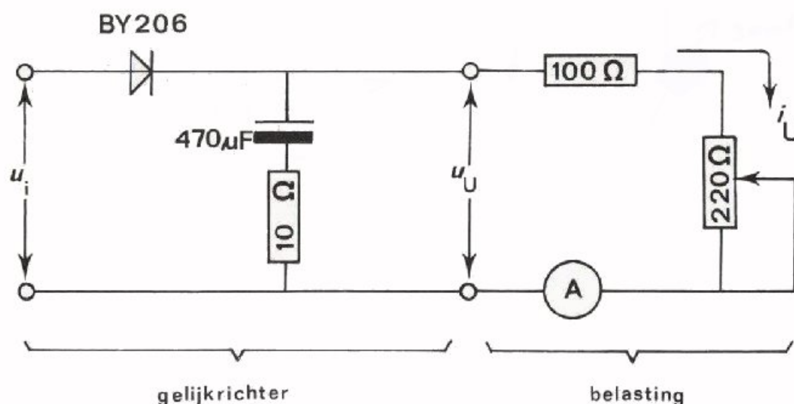
- De buffercondensator wordt geladen via de diode en ontladen via de belastingsweerstand. Door C_L vloeit dus een wisselstroom, die gedurende het laden een grote waarde heeft. De buffercondensator moet deze stroom kunnen verdragen. De wisselstroom door een buffercondensator noemt men een *rimpelstroom*.

OPMERKING

Bij het vervangen van een gelijkrichtdiode moet men dus letten op $I_{V(MAX)}$ en $U_{V(MAX)}$ van de vervanger. Bij het uitwisselen van een buffercondensator moet men van de nieuwe condensator nagaan: de capaciteitswaarde, de bedrijfsspanning en de maximaal toelaatbare rimpelstroom.

OPDRACHT: DE RIMPELSTROOM DOOR EEN BUFFERCONDENSATOR

- Monteer de volgende gelijkrichtschakeling op Uw paneel.
  De weerstand van 10Ω in serie met de buffercondensator stelt ons in staat de rimpelstroom door deze condensator zichtbaar te maken op een oscilloscoop.



- Schakel een oscilloscoop over de weerstand van 10Ω.
- Voer een wisselspanning van $U_{i(eff)}$ = 6,3 V aan de gelijkrichtschakeling toe.
- Stel de uitgangsstroom $I_{U(GEM)}$ in op 30 mA.
- Maak de rimpelstroom van de buffercondensator zichtbaar op de oscilloscoop (stand AC). (De stroom boven de nul-as is de laadstroom die via de diode wordt toegevoerd. De stroom onder de nul-as is de ontlaadstroom die via de belasting wordt afgevoerd).

  De topwaarde van de laadstroom is: $i_{(LADEN)T}$ = [mA]

  De grootte van de ontlaadstroom is: $i_{(ONTLADEN)T}$ = [mA]

  Vergelijk $i_{(ONTLADEN)T}$ met $i_{U(GEM)}$.

  Conclusie: De ontlaadstroom van de condensator komt **wel/niet** overeen met de uitgangsstroom $I_{U(GEM)}$.

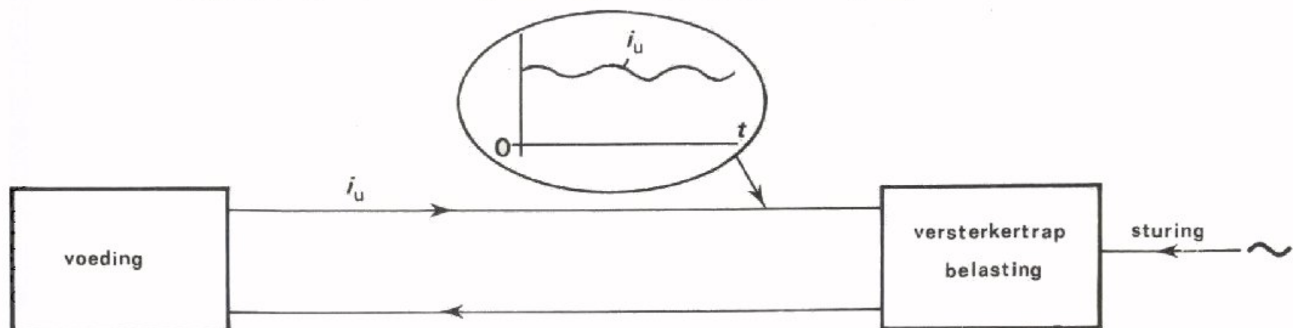
- Maak de uitgangsstroom 60 mA.
  Meet opnieuw de laad- en ontlaadstroom van de buffercondensator.

  $i_{(LADEN)T}$ = [mA]

  $i_{(ONTLADEN)T}$ = [mA]

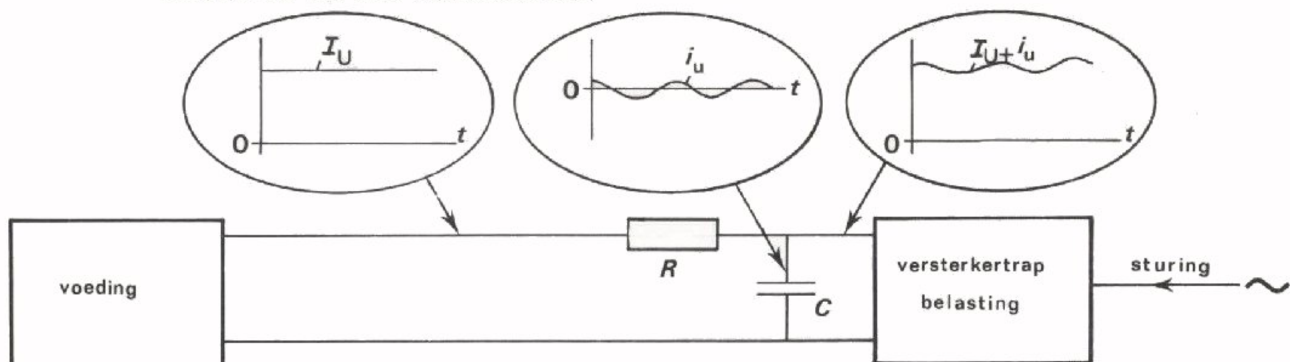
Conclusie: De diodestroom is groter naarmate de uitgangsstroom **groter/kleiner** is.

Op de uitgang van een voedingsapparaat wordt vaak een wisselende belasting aangesloten. Denk eens aan de voeding voor een versterker. Zolang de versterker niet wordt uitgestuurd levert de voeding een constante gelijkstroom. Wordt de versterker wel uitgestuurd, bijv. met een sinusvormig signaal, dan moet de voeding het ene moment veel stroom en het volgende moment weinig stroom leveren (zie figuur).



Door de voedingsleidingen vloeit dan niet alleen een gelijkstroom maar ook een wisselstroom. De wisselstroom veroorzaakt een wisselend magnetisch veld rondom de voedingsleidingen. Dit geeft dikwijls aanleiding tot storingen omdat de voedingsleidingen meestal de hele schakeling (versterker) doorkruisen. Hoe kunnen we dit voorkomen ?

Men kan de wisselstroom door de voedingsleidingen voorkomen door de voeding vlak bij elk van de versterkertrappen te *ontkoppelen* m.b.v. een weerstand en een condensator.



De wisselstroom, die in de versterker ontstaat, vloeit nu vanaf de versterker via de condensator weer terug naar de versterker. De weerstand R is zo groot gekozen dat er bijna geen wisselstroom door de voedingsbron gaat.

Voor de goede werking moet dus: $R > \frac{1}{2\pi fC}$ (f is de frequentie van de wisselstroom).

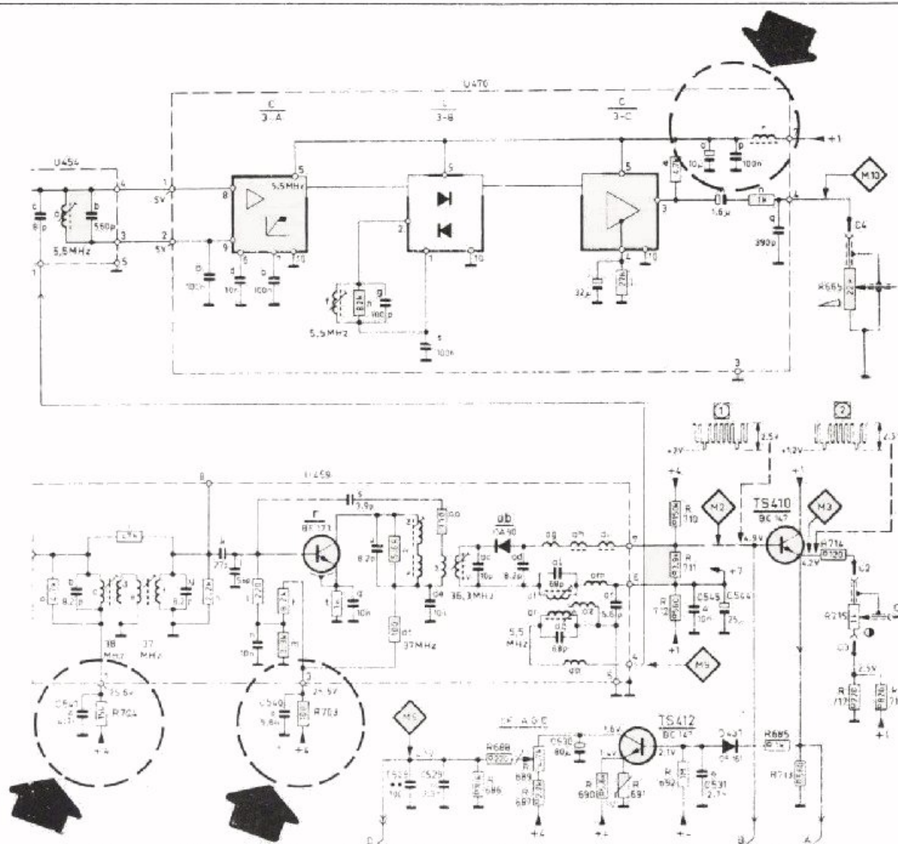
In plaats van de weerstand R gebruikt men ook wel eens een spoel. In dit geval moet $\omega L = \frac{1}{\omega C}$. Het voordeel van een spoel is dat hiervoor weinig gelijkspanning valt. Een spoel is evenwel duurder dan een weerstand.

Door het ontkoppel-netwerk vlak bij elke versterkertrap te monteren vloeit de wisselstroomcomponent slechts door een klein gedeelte van de voedingsleiding.

VOORBEELD VAN EEN PRAKTISCHE SCHAKELING MET VOEDINGSKOPPELINGEN

Onderstaand schema is een deel van een TV-ontvanger. De met stippellijnen omcirkelde filters zijn de ontkoppelingen van de voeding, waarover we hebben gesproken.

Deze ontkoppelingen dienen om:

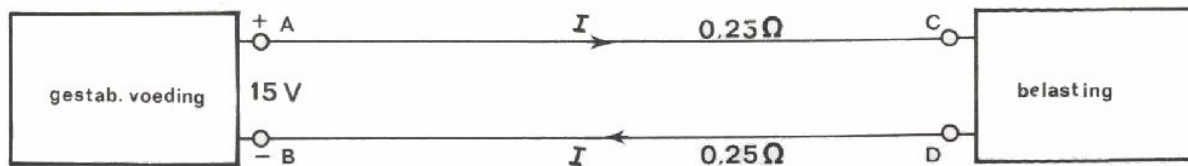


De waarde van de ontkoppelcondensators hangt af van de *frequentie* van de wisselstroom die door de voedingsleidingen vloeit. Bij hoge frequenties is een kleine capaciteit voldoende. Bij lage frequenties heeft men een condensator met grote capaciteit nodig. Vergelijk het meest linkse filter met het meest rechtse filter.

In het rechtse filter zien we bovendien dat de elco van 10 µF overbrugd is door een veel kleinere condensator van 100 nF. Dit doet men vaak in voedingsleidingen waar zowel laagfrequente als hoogfrequente stromen vloeien. De elco dient voor het ontkoppelen van de *laagfrequente* stromen. Voor de *hoogfrequente* stromen heeft de elco echter te veel zelfinductie. De taak van ontkoppelen wordt dan overgenomen door de kleinere condensator die veel minder zelfinductie heeft.

VOEDEN OP AFSTAND

In bepaalde gevallen is het onvermijdelijk dat een voedingsapparaat op een aanzienlijke afstand van de belasting is geplaatst. In dat geval is de weerstand van de voedingsleidingen niet meer te verwaarlozen. Dit geeft problemen bij het constant houden van de spanning over de belasting. Volgend voorbeeld zal dit verduidelijken:



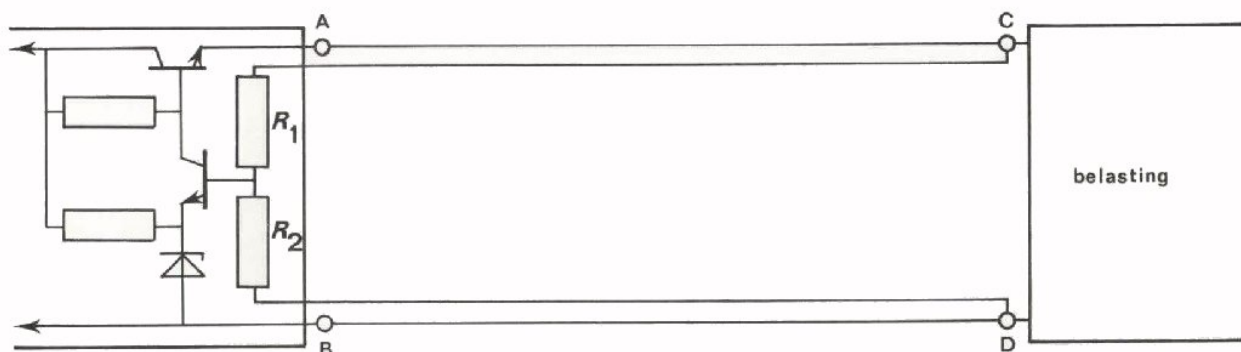
In deze schakeling is de uitgangsspanning van de gestabiliseerde voeding U_{AB} = 15 V. De stroom door de belasting varieert van 1 tot 5 A. De weerstand van de voedingsleidingen is 0,25 + 0,25 = 0,5Ω.

Bij 1 A is de spanning over de belasting: U_{CD} = 15 − (1 x 0,5) = 14,5 V.

Bij 5 A is de spanning over de belasting: U_{CD} = 15 − (5 x 0,5) = 12,5 V.

Ondanks het gebruik van een gestabiliseerde voeding varieert de spanning over de belasting toch nog 2 V.

Wat kan men hiertegen doen ?



We herkennen in dit schema de stabilisatieschakeling die we in de vorige les hebben behandeld. De spanningsdeler R_1-R_2 was toen echter verbonden met de punten A en B. Elke spanningsverandering tussen de uitgangsklemmen A en B van de *voeding* wordt dan door de stabilisatie-schakeling gecorrigeerd.

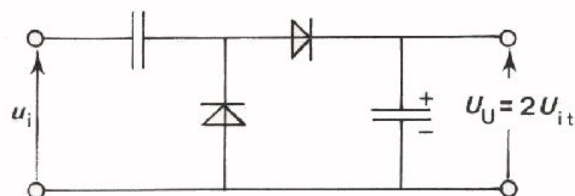
Verbinden we de spanningsdeler R_1-R_2 niet met A en B maar met de punten C en D, dan wordt de spanning op de *belasting* constant gehouden. In dit geval hebben we de voeding en de belasting elk *vier* aansluitingen: twee dikke draden waardoor de belastingsstroom vloeit (de stroomdraden), en twee dunne draden (de zogenaamde meetdraden) die met de spanningsdeler verbonden zijn.

OEFENING

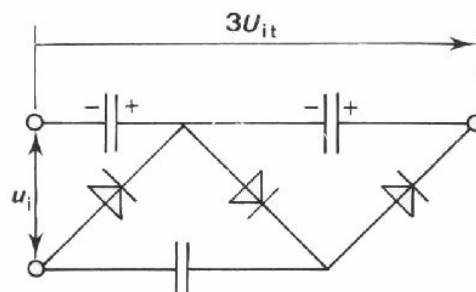
Waarom moeten de stroomdraden dik zijn, en mogen de meetdraden dun zijn ?

SAMENVATTING

- Met een spanningsverdubbelaar kan men een gelijkspanning verkrijgen die gelijk is aan *tweemaal* de topwaarde van de ingangswisselspanning.



- Met behulp van nevenstaande schakeling verkrijgt men een gelijkspanning die gelijk is aan *driemaal* de topwaarde van de ingangsspanning.



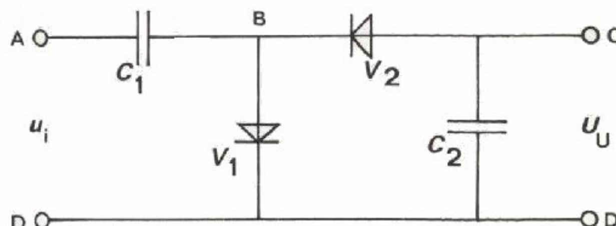
- Voedingsapparaten voor grote vermogens zijn uitgerust met een driefasengelijkrichter. Ook voor kleinere vermogens wordt deze methode soms toegepast omdat de rimpelspanning die na gelijkrichting ontstaat veel kleiner is dan bij éénfasengelijkrichting. Afvlakking is meestal overbodig.
- Thyristorgelijkrichters gebruikt men om grote gelijkstroomvermogens te regelen zonder dat daarbij veel vermogensverlies optreedt.
- DC-DC-converters worden gebruikt als men een hogere gelijkspanning nodig heeft dan er beschikbaar is.
- Door de diode en de buffercondensator van een gelijkrichter vloeien betrekkelijk grote pulsvormige stromen, de zogenaamde rimpelstromen. Niet alle dioden en condensators zijn bestand tegen deze rimpelstromen. Bij het uitwisselen van gelijkrichtdioden en buffercondensators moet men vooral op de volgende eigenschappen letten: $I_{V(MAX)}$ en $U_{V(MAX)}$ (voor dioden), capaciteit, bedrijfsspanning en de maximaal toelaatbare rimpelstroom (voor condensators).
- Bij een wisselende belasting vloeien er wisselstromen door de voedingsleidingen. Hierdoor kunnen storingen optreden in het te voeden apparaat. Met behulp van ontkoppelfilters kan men de voedingsleidingen nagenoeg vrij maken van wisselstroom. Deze ontkoppelfilters moeten zo dicht mogelijk bij de te voeden schakelingen worden gemonteerd.
- Over lange voedingsleidingen kan een niet te verwaarlozen spanningsval optreden. Bij belastingsvariatie verandert de spanning over de belasting merkbaar. Dit euvel kan men verhelpen door een meetleiding vanaf de belasting terug te voeren naar de stabilisatieschakeling van de voeding.

NAAM: [ ] KLAS: [ ]

OEFENINGEN

1. Deze schakeling is een : [ ]

De ingangsspanning $U_{i(eff)}$ = 7 V.



De spanning over C_1 is [V] , waarbij punt A

[**positief/negatief**] is t.o.v. punt B. (Let op de richting van V_1).

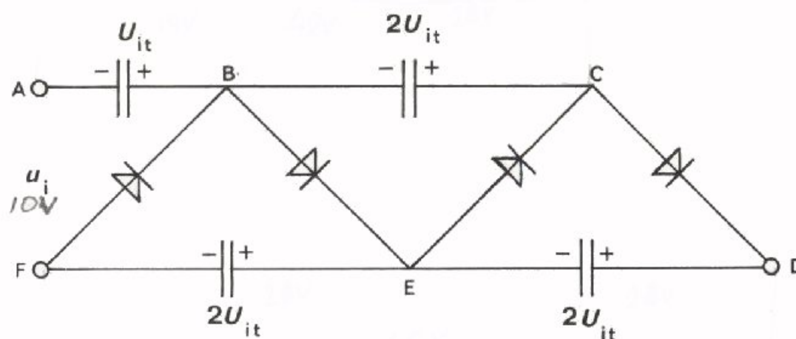
De spanning over C_2 is [V] , waarbij punt C

[**positief/negatief**] is t.o.v. punt D. (Let op de richting van V_1 en V_2).

De maximale spanning over de gelijkrichtdioden is [V]

2. De volgende gelijkrichtschakeling kan diverse gelijkspanningen leveren.

De ingangswisselspanning $U_{i(eff)}$ = 10 V.

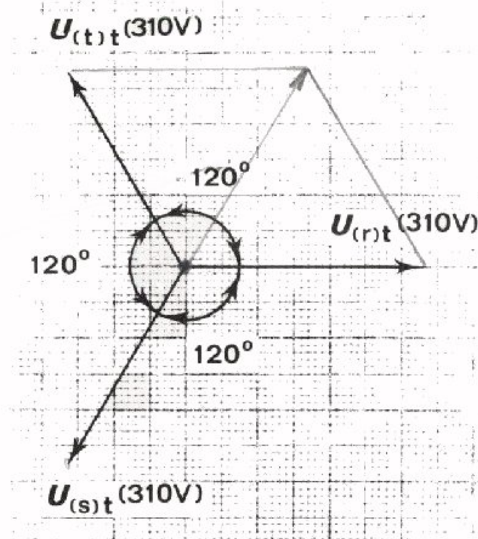


Hoe groot zijn de volgende gelijkspanningen:

U_{BA} =	V	U_{EF} =	V
U_{CB} =	V	U_{CA} =	V
U_{DE} =	V	U_{DF} =	V

3. In dit vectordiagram zijn de drie spanningen van een driefasennet getekend.

Bepaal de som van de drie spanningen.
Tel eerst $U_{(r)t}$ en $U_{(s)t}$ vectorisch op.
Vergelijk deze som met $U_{(t)t}$.

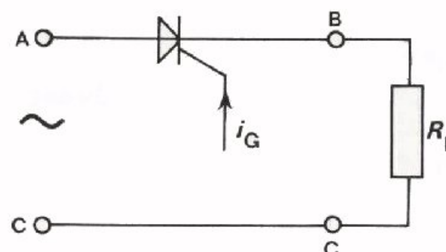


$\boldsymbol{U}_{(r)t} + \boldsymbol{U}_{(s)t} + \boldsymbol{U}_{(t)t}$ = [V]

Bij gelijke belasting van de drie fasen is de stroom door de nulleider:

i_o = [A]

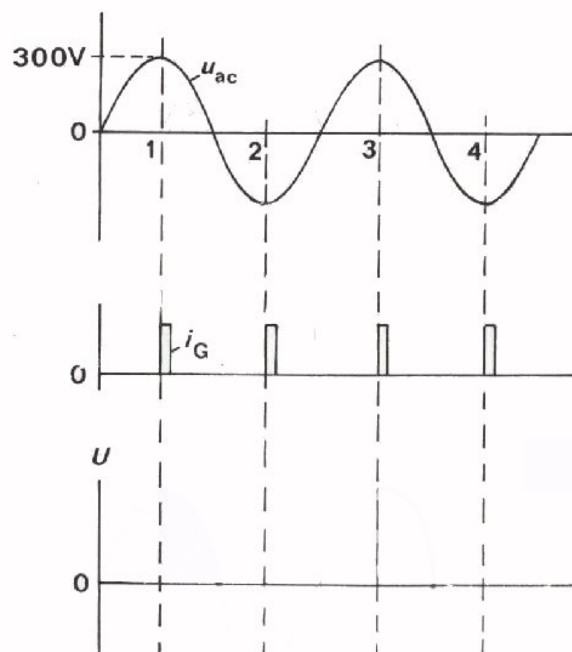
4. Deze thyristorgelijkrichter is belast met een weerstand R_L = 1 kΩ



Tussen de punten A en C wordt een sinusvormige spanning u_{ac} met een topwaarde van 300 V aangesloten.

De thyristor wordt getriggerd door een pulsvormig signaal i_G.

Teken het verloop van de uitgangsspanning u_{BC}.



Hoe groot is de *gemiddelde* stroom door R_L ?
Neem aan dat de weerstand van de thyristor in doorlaat-richting 0Ω is.

$I_{RL(GEM)}$ = [mA]

C 21

OMVORMSCHAKELINGEN I

OMVORMERS, DIE WEL DE VORM DOCH NIET DE FREQUENTIE VAN EEN SIGNAAL VERANDEREN

INLEIDING

Bij de behandeling van de functies "versterken" en "verzwakken" hebben we gezien dat bij die informatie-verwerking alléén de *grootte* van het signaal verandert. De *frequentie* blijft gelijk en het is ook de bedoeling dat de *vorm* dezelfde blijft.

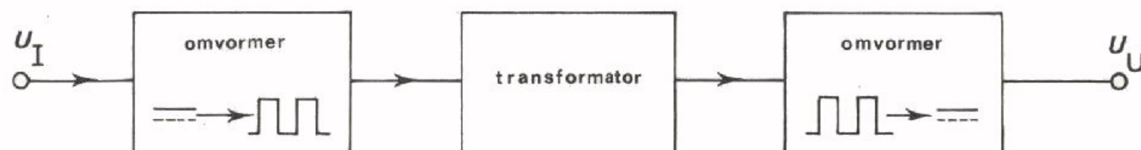
Men kent in de elektronika ook schakelingen die ten doel hebben, de *vorm* van het signaal, de *frequentie* van het signaal of beide te veranderen. Deze schakelingen noemen we *omvormschakelingen* of *omvormers*.

In feite is er tijdens de cursus al het een en ander over omvormers aan de orde geweest.

In C7 is het blokschema van een chopperversterker besproken.

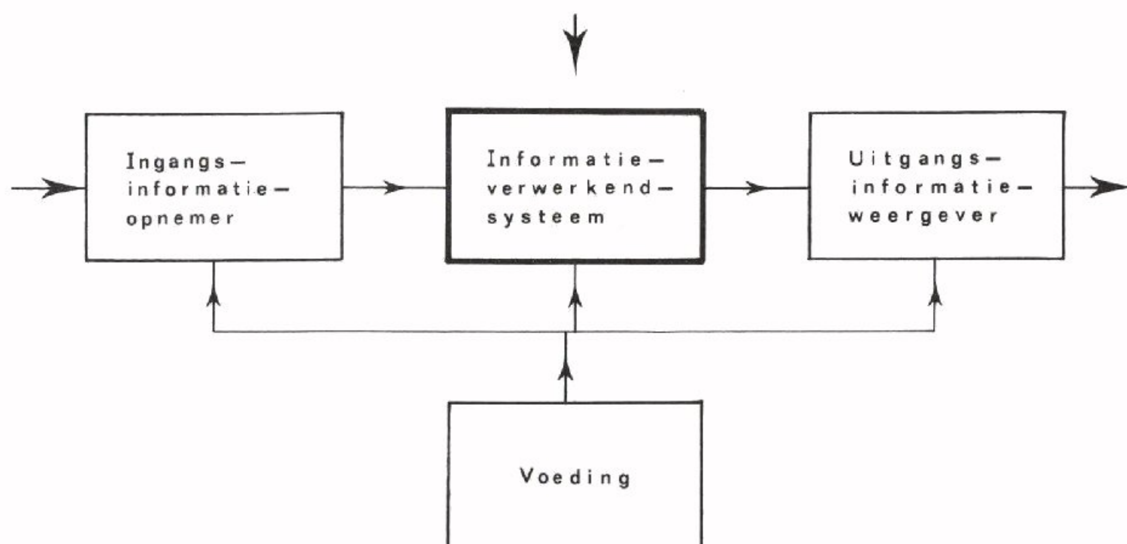


In C20 is het blokschema van een DC-DC-converter behandeld.



Er zijn nog vele andere soorten omvormers. In deze les en in de volgende zullen we een aantal veel voorkomende omvormers bespreken. Naast de werking en de eigenschappen van deze schakelingen zal ook aandacht worden besteed aan de toepassingen.

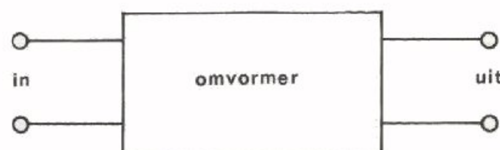
OMVORMERS HOREN THUIS BIJ HET ONDERDEEL INFORMATIEVERWERKING



DE FUNCTIE OMVORMEN

Onder omvormen verstaan we het zodanig verwerken van een elektrisch signaal dat ȍf de *vorm*, ȍf de *frequentie* ȍf beide veranderen.

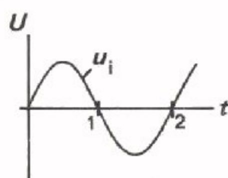
Een omvormschakeling kan men in zijn algemeenheid voorstellen door een blok met een ingang en een uitgang. Aan de ingang wordt een elektrisch signaal toegevoerd. Aan de uitgang wordt een elektrisch signaal afgenomen, waarvan de *vorm*, de *frequentie* of beide anders zijn dan die van het ingangssignaal.

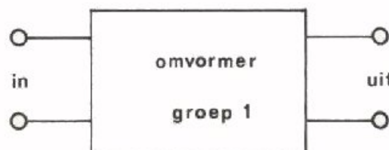


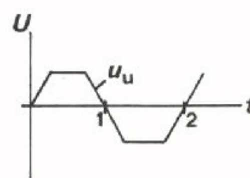
SOORTEN OMVORMERS

We onderscheiden drie groepen omvormers:

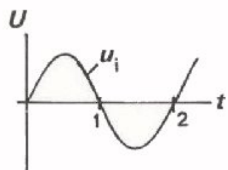
① Omvormers die het signaal zodanig verwerken dat wel de *vorm* van het signaal verandert maar niet de frequentie.



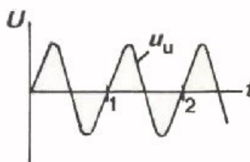




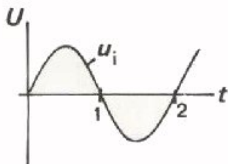
② Omvormers die het signaal zodanig verwerken dat wel de *frequentie* verandert maar niet de vorm.

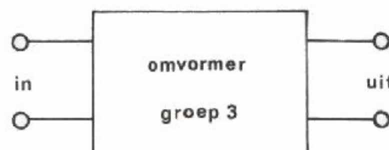


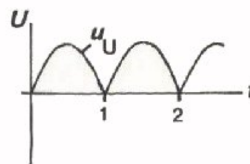




③ Omvormers die zowel de *vorm* als de *frequentie* van het signaal veranderen.





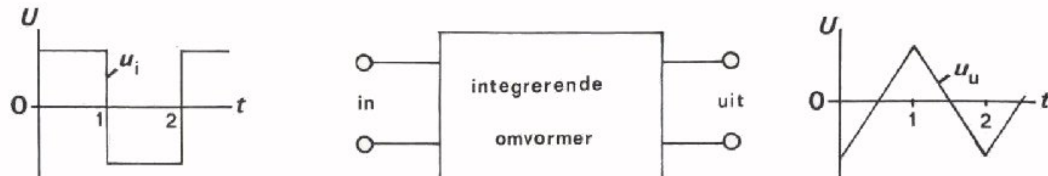


In deze les houden we ons bezig met de eerste groep omvormers. In de volgende les komen een aantal omvormers uit de tweede en derde groep aan de orde.

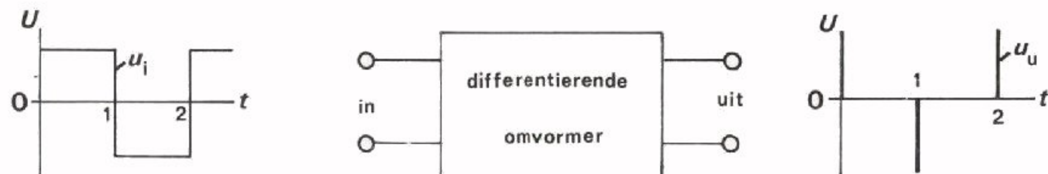
OMVORMERS DIE ALLEEN DE VORM VAN HET SIGNAAL VERANDEREN

In deze les worden enkele omvormschakelingen van groep I besproken. De keuze is gevallen op schakelingen die in de praktijk veelvuldig worden gebruikt.

● INTEGREREnde OMVORMERS (op de *naam* komen we later terug)
Met deze schakelingen worden bijvoorbeeld blokvormige spanningen omgevormd tot driehoekvormige spanningen.



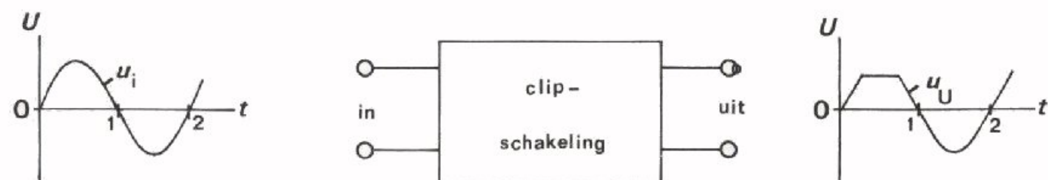
● DIFFERENTIERENDE OMVORMERS (deze *naam* zal U later worden uitgelegd)
Met deze schakelingen kan men bijvoorbeeld blokvormige spanning omvormen tot piekvormige spanningen.



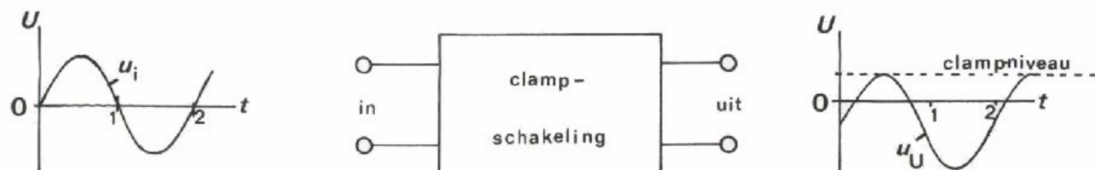
● IMPULS-VORMERS
Deze schakelingen leveren een blokvormige spanning, onafhankelijk van de vorm van de ingangsspanning.



● CLIP-SCHAKELINGEN
Clip-schakelingen "knippen" de toppen van het ingangssignaal af.

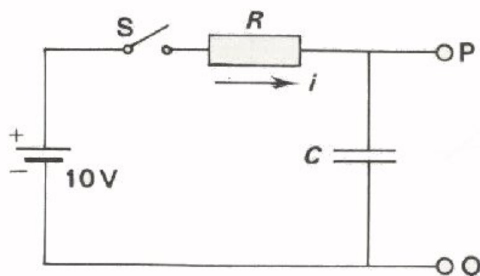


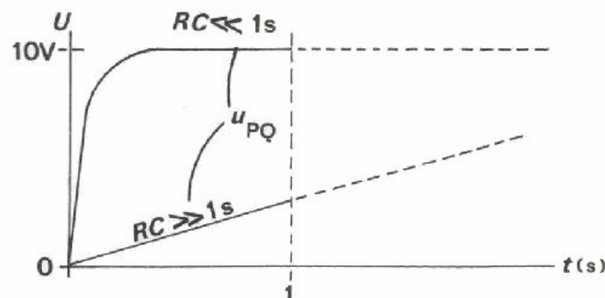
● CLAMP-SCHAKELINGEN
Met een clamp-schakeling wordt de top van het ingangssignaal tegen een bepaald gelijkspanningsniveau "vastgeklemd".



Bij integrerende en differentiërende netwerken krijgt men te maken met het laden en het ontladen van condensators. Daarom gaan we dit verschijnsel nog eens even onder de loep nemen.

A. Het laden van een condensator.



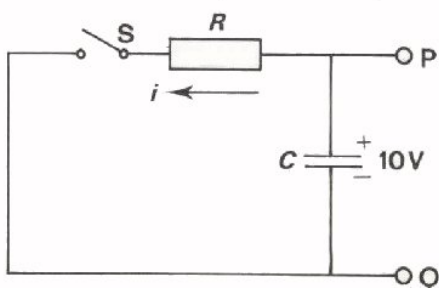


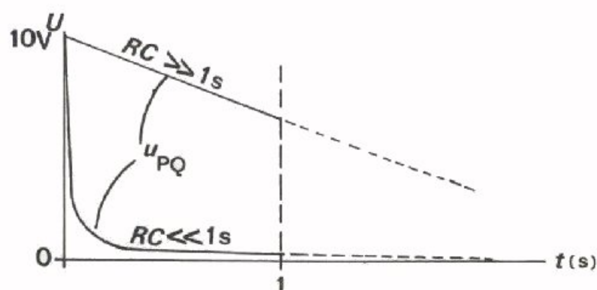
Wat gebeurt er als we schakelaar S bijv. 1 s sluiten ?

Vanaf het moment dat S gesloten is, wordt de condensator *C* via de weerstand *R* geladen. Punt P van de condensator wordt positief t.o.v. Q. Het verloop van de condensatorspanning hangt af van de batterijspanning (hier 10 V) en de waarde van *R* en *C* (het zogenaamde *RC*-product).

- $RC \ll 1$ s (bijv. $R = 10$ kΩ en $C = 100$ nF).
  In dit geval bereikt de condensatorspanning ruim binnen 1 s de eindwaarde van 10 V. Het verloop van U_{PQ} is hierboven afgebeeld.
- $RC \gg 1$ s (bijv. $R = 1$ MΩ en $C = 1000$ µF).
  Nu is de condensatorspanning na 1 s nog lang niet aan de eindwaarde. Na 1 s hebben we nog maar een klein gedeelte van het laadproces achter de rug. Dit kleine deel van de laadkromme mag men bij benadering als recht beschouwen.

B. Het ontladen van een condensator.



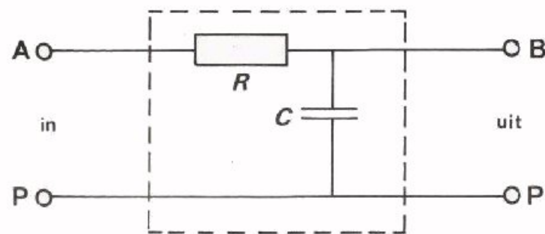


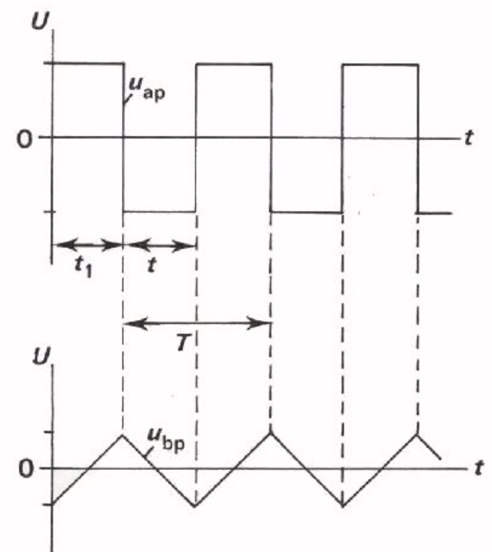
Veronderstel dat de condensatorspanning 10 V is, en dat S gedurende 1 s wordt gesloten.

Vanaf het moment dat S gesloten is, ontlaadt de condensator zich over *R*. Het verloop van de condensatorspanning hangt weer af van het product *RC*.
- Als $RC \ll 1$ s , dan is de condensator snel ontladen (zie figuur).
- Als $RC \gg 1$ s , dan is na 1 s de condensatorspanning slechts weinig gedaald. Dit kleine deel van de ontlaadkromme verloopt nagenoeg lineair.

INTEGREERENDE OMVORMERS

Hieronder is een integrerende omvormer afgebeeld.





In deze schakeling is:

$RC >> T$

T is de periodetijd van de ingangsspanning.

We gaan eens bekijken hoe deze schakeling een kanteelvormige ingangsspanning verwerkt. De leerstof van pagina 5 wordt hierbij betrokken.

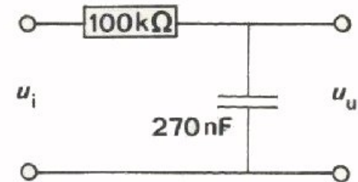
- De kanteelvormige ingangsspanning u_{ap} kan men beschouwen als een gelijkspanning die achtereenvolgens positief en negatief is.
- Gedurende de tijd dat punt A positief is t.o.v. P (t_1) wordt de condensator C geladen via R. Omdat $RC >> t_1$ blijft $U_{(bp)t}$ klein t.o.v. $U_{(ap)t}$. Het spanningsverloop is nagenoeg lineair.
- Gedurende de tijd dat punt P positief is t.o.v. A (t_2) wordt C ontladen tot $u_{bp} = 0$ en vervolgens in tegengestelde richting weer geladen. Omdat $RC >> t_2$ verloopt u_{bp} ook nu lineair.

CONCLUSIES

- De uitgangsspanning u_{bp} heeft een andere *vorm* dan de ingangsspanning u_{ap}. De frequentie is dezelfde gebleven.
- De topwaarde van de uitgangsspanning is aanzienlijk kleiner dan de topwaarde van de ingangsspanning.
- Het uitgangssignaal bevat *geen snelle* spanningsveranderingen; de ingangsspanning wél. Dit is kenmerkend voor integrerende omvormers. Bij integrerende omvormers worden de sprongen van het ingangssignaal vlakgetrokken. Het woord integreren betekent hier dan ook: afvlakken, verschillen gelijktrekken, onderscheid verminderen.

OPDRACHT: HET METEN AAN EEN INTEGRERENDE OMVORMER

- Monteer deze schakeling op Uw paneel.



- Van deze integrator is:

  Het product RC = [ms]

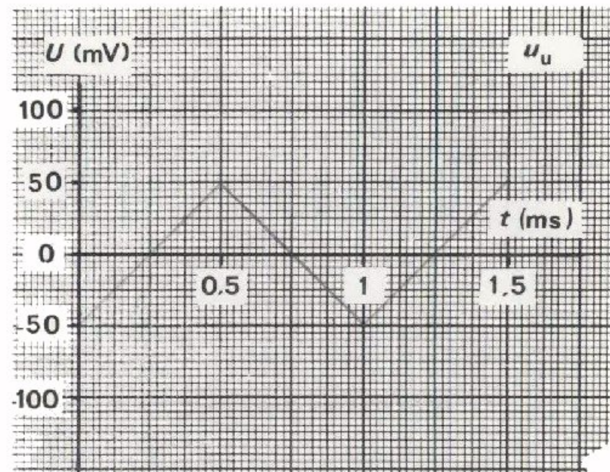
- Sluit een blokvormige wisselspanning aan op de ingang.
  Maak de amplitude van de spanning 5 V en regel de frequentie op ca. 1 kHz.

  We kunnen nu vaststellen dat:

  De RC van een integrator is [<</>>/=] de T van de ingangsspanning.

- Maak zowel de ingangsspanning als de uitgangsspanning zichtbaar op een dubbelstraaloscilloscoop (stand: AC).

- Schets het verloop van de uitgangsspanning.



- Hoe groot is de top-top-waarde van de uitgangsspanning.

  U_{utt} = [mV]

- Hoe groot is de frequentie van u_u ?

  f = [kHz]

OPMERKING

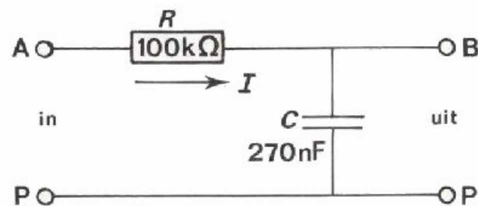
Zoals U bij deze meting hebt ervaren, is de uitgangsspanning van een integrator driehoekvormig bij een kanteelvormige ingangsspanning. Driehoekvormige spanningen gebruikt men in de praktijk o.a. om te controleren bij welke waarde van de ingangsspanning een versterker vastloopt. Een driehoekvormige spanning is hiervoor meer geschikt dan een sinusvormige of een blokvormige spanning.

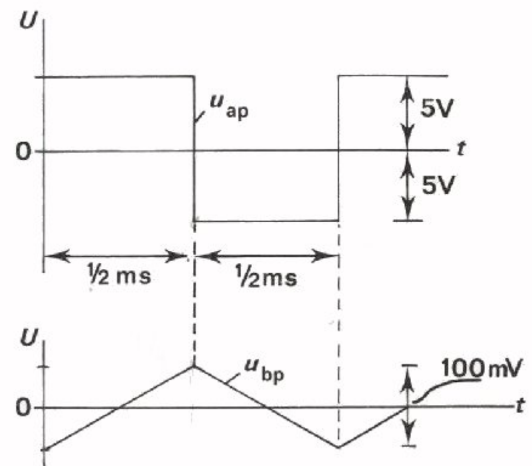
Waarom ?

HET UITGANGSSIGNAAL VAN DE INTEGRATOR VAN DE OPDRACHT

Uit voorgaande opdracht hebben we gezien dat een integrator een kanteelvormige spanning omvormt tot een driehoekspanning.
De frequentie van de uitgangsspanning is gelijk aan die van de ingangsspanning. De top-top-waarde van de uitgangsspanning is evenwel veel kleiner dan die van de ingangsspanning.

Het *berekenen* van de uitgangsspanning van de integrator van de opdracht.





Omdat $U_{(ap)t} \gg U_{(bp)t}$ is de laadstroom nagenoeg constant en gelijk aan:

$$I \simeq \frac{U_{(ap)t}}{R}$$

- Als punt A 5 V positief is t.o.v. P: $I = \frac{5\ \text{V}}{100\ \text{k}\Omega} = 50\ \mu\text{A}$

  De lading die gedurende ½ ms in de condensator vloeit is:

  $$Q = I.t = 50\ \mu\text{A}.\ 0{,}5\ \text{ms} = 25.10^{-9}\ \text{Coulomb}.$$

  De spanning op de condensator *stijgt* dus met een bedrag:

  $$U_{(BP)tt} = \frac{Q}{C} = \frac{25.10^{-9}}{270.10^{-9}} \simeq 0{,}1\ \text{V} = 100\ \text{mV}.$$ Q = I · T

- Als punt B 5 V negatief is t.o.v. P gebeurt het omgekeerde. De spanning op de condensator *daalt* met een bedrag van 100 mV.

- De top-top-waarde van u_{BP} is dus ca. 100 mV. (Vergelijk deze waarde met het meetresultaat op pagina 7).

OEFENING

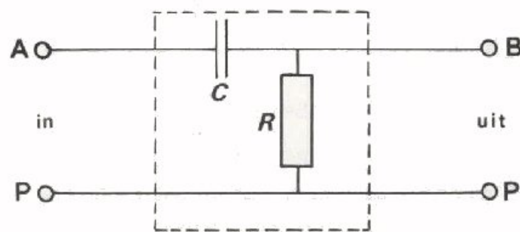
Aan bovenstaande integrator voeren we een kanteelspanning toe met een top-top-waarde van 20 V; frequentie 2 kHz.

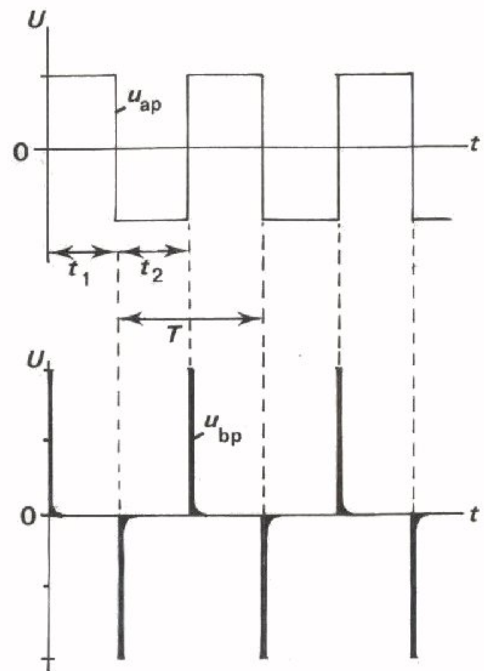
Hoe groot wordt de top-top-waarde van de uitgangsspanning ?

$U_{utt} \simeq$ [ ] mV

DIFFERENTIERENDE OMVORMERS

Hieronder is een veel gebruikte differentiërende schakeling getekend.





In deze schakeling is:

$RC << T$

T is de periodetijd van de ingangsspanning.

Aan de ingang van de schakeling wordt een kanteelvormige spanning u_{ap} gelegd. Aan de hand van hetgeen we op pagina 5 hebben geleerd, zullen we nagaan hoe de uitgangsspanning u_{bp} verloopt.

- De kanteelvormige ingangsspanning kan men zien als een gelijkspanning die periodiek van een positieve naar een negatieve waarde springt en ook andersom.

- Op het moment dat punt A met een sprong positief wordt t.o.v. P, komt deze spanningssprong volledig over de weerstand R te staan. De spanning op een condensator kan immers niet snel veranderen.
  Omdat $RC << t_1$ zal de condensator snel worden geladen tot $U_{(ap)t}$.
  De spanning over R is dan nul.

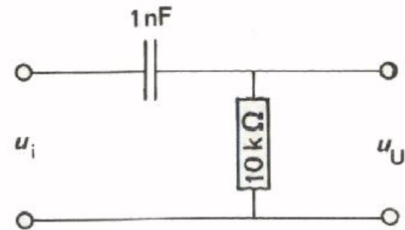
- Op het moment dat punt P met een sprong positief wordt t.o.v. A wordt deze spanningssprong weer volledig doorgegeven aan R.
  Omdat $RC << t_2$ wordt C snel ontladen en in tegengestelde richting geladen tot $U_{(ap)t}$. De spanning over R is dan weer nul.

CONCLUSIES

- De uitgangsspanning u_{bp} heeft een andere *vorm* dan de ingangsspanning u_{ap}. De frequentie is dezelfde gebleven.
- De uitgangsspanning bestaat uit de verticale delen van de ingangsspanning.
- De differentiator laat *vooral de snelle* ingangsspanningsveranderingen door. De horizontale delen van de ingangsspanning (dit is gelijkspanning) wordt niet doorgelaten. Dit is kenmerkend voor differentiërende omvormers.
  Differentiëren betekent hier: verschil maken, onderscheid maken.

OPDRACHT: HET METEN AAN EEN DIFFERENTIERENDE OMVORMER

- Monteer deze schakeling op Uw paneel.



- Van deze differentiator is:

  Het product RC = [ms]

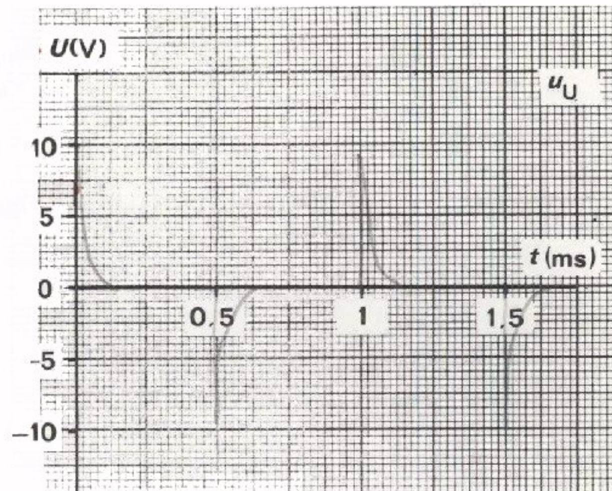
- Sluit een blokvormige wisselspanning aan op de ingang van schakeling. Maak de amplitude van de spanning 5 V en regel de frequentie op ca. 1 kHz.

  We kunnen nu vaststellen dat:

  De RC van een differentiator is [<</>>/=] de T van de ingangsspanning.

- Maak zowel de ingangsspanning als de uitgangsspanning zichtbaar op een dubbelstraaloscilloscoop (stand AC).

- Schets het verloop van de uitgangsspanning.



- Hoe groot is de top-top-waarde van de uitgangsspanning ?

  U_{Utt} = [V]

- Hoe groot is de frequentie van u_U ?

  f = [kHz]

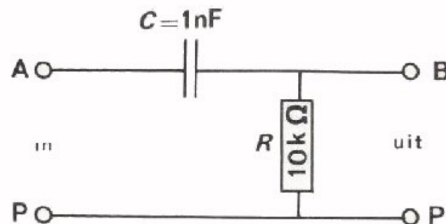
OPMERKING

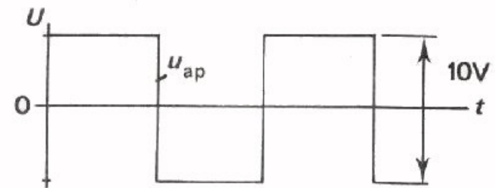
U hebt nu ervaren dat een differentiator piekvormige spanningen levert. Dit soort spanningen is o.a. bijzonder geschikt om de werking van elektronische schakelingen op vastgestelde tijdstippen te beïnvloeden. Het "triggeren" van de tijdbasis van een oscilloscoop bijvoorbeeld, gebeurt met gedifferentieerde impulsen. Ook voor het open- en dichtsturen van digitale schakelingen zijn dikwijls korte steile impulsen nodig.

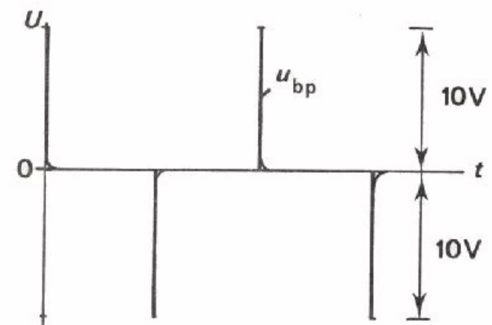
DE UITGANGSSPANNING VAN DE DIFFERENTIATOR VAN VORIGE OPDRACHT

Uit voorgaande opdracht is gebleken dat een differentiator een kanteelvormige ingangsspanning omvormt tot een piekvormige uitgangsspanning. De frequentie van de uitgangsspanning is gelijk aan die van de ingangsspanning. De top-top-waarde van de uitgangsspanning is evenwel groter dan die van de ingangsspanning.

Hoe groot is de uitgangsspanning van de differentiator van vorige opdracht ?







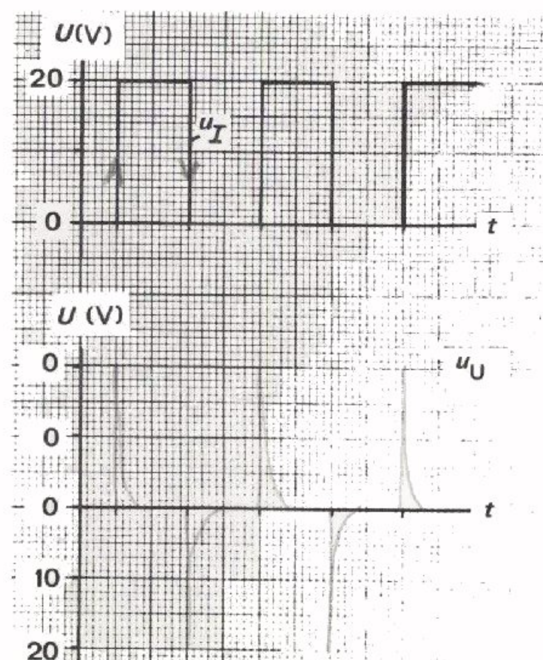
De top-top-waarde van de ingangsspanning is 10 V. Met andere woorden: de *sprongen* van het ingangssignaal zijn 10 V.

- Als u_{ap} een sprong maakt van -5 V naar +5 V, dan wordt deze sprong in zijn geheel doorgegeven aan de uitgang. Hier ontstaat dus een *positieve* spanningspiek van 10 V.
- Als u_{ap} een sprong maakt van +5 V naar -5 V, dan ontstaat een *negatieve* spanningspiek van 10 V op de uitgang.
- De top-top-waarde van de uitgangsspanning u_{bp} is dus 2 x 10 V = 20 V (vergelijk deze waarde met de overeenkomstige gemeten waarde).

OEFENING

De hiernaast afgebeelde spanning u_I wordt aan de ingang van een differentiërende omvormer gelegd.

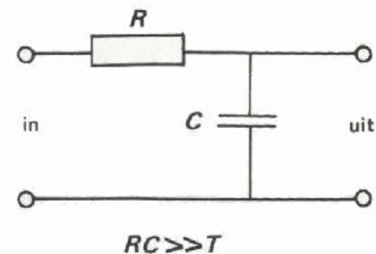
Teken het verloop van de uitgangsspanning.



KORTE SAMENVATTING VAN HET VOORGAANDE

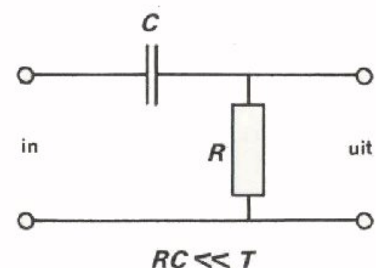
- Met integrerende omvormers worden de snelle veranderingen van het ingangssignaal afgevlakt.

  Werking:
  De spanning op een condensator kan niet "springen". De uitgangsspanning u_u kan dan ook geen snelle spanningssprongen bevatten.



- Differentiërende omvormers geven de snelle veranderingen van het ingangssignaal nagenoeg onverzwakt door.

  Werking:
  Omdat de spanning op een condensator niet kan "springen", komen de sprongen van u_I over de weerstand R (dus over de uitgang).

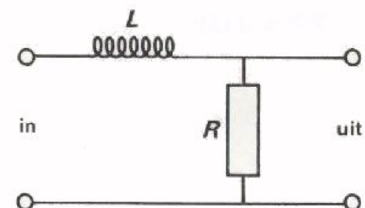


OEFENINGEN

1. Uit de elektriciteitsleer weten we dat de *stroom* door een spoel niet kan "springen"
   De uitgangs*spanning* van nevenstaande schakeling kan zodoende ook niet snel veranderen.
   Deze schakeling is dus een

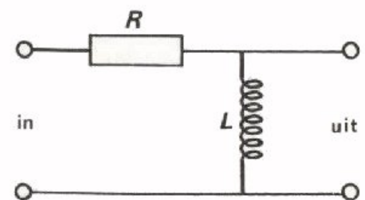
   integrerende/differentiërende

   omvormer.



2. Omdat in nevenstaande schakeling de stroom door de spoel niet kan "springen", zal de spanning over de R ook geen sprongen bevatten.
   De snelle ingangsspanningsvariaties komen dus over de spoel terecht.
   Deze schakeling is dus een

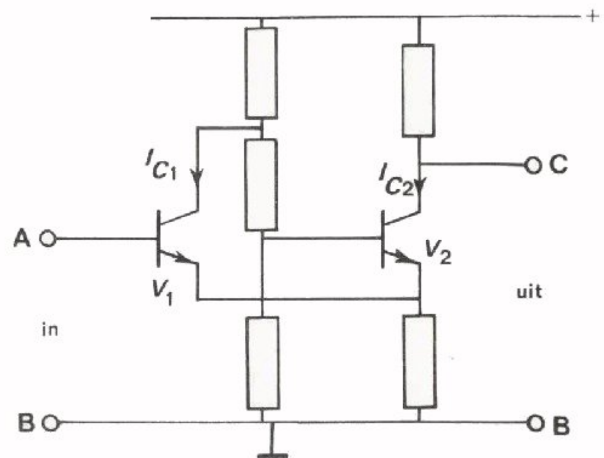
   integrerende/differentiërende omvormer.



IMPULSVORMERS

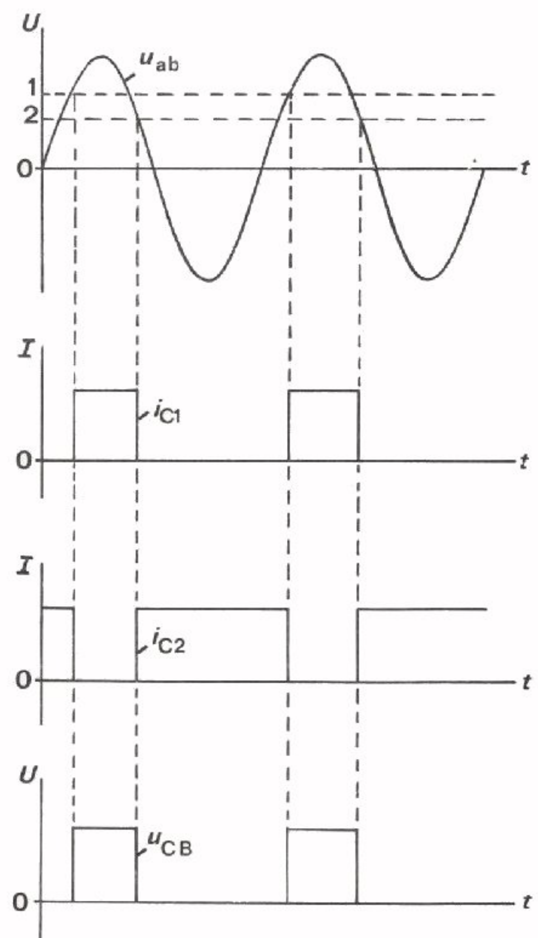
Met impulsvormers bedoelen we schakelingen die een spanning met willekeurige vorm omzetten in een blokvormige spanning.

Een schakeling die hiervoor bij uitstek geschikt is, is de zogenaamde *Schmitt-trigger*.



Dit is een schakeling met twee transistors zoals hiernaast getekend. Als de ene transistor geleidt is de andere gesperd, en omgekeerd. Hoe dit komt zullen we hier niet uitleggen. In les D15 is dit uitgebreid behandeld. We bekijken wel wat deze schakeling doet.

Wordt de ingang kortgesloten (u_{ab} = 0) dan is V_1 dicht en V_2 open.
De uitgangsspanning u_{CB} is dan laag.



We leggen nu bijv. een sinusvormige spanning u_{ab} aan de ingang. Op het moment dat deze spanning het niveau u_{ab1} bereikt gaat plotseling V_2 dicht en V_1 open.
De uitgangsspanning is dan hoog.

Deze situatie blijft gehandhaafd totdat de spanning beneden het niveau u_{ab2} daalt. Vanaf dit moment krijgen we weer de oorspronkelijke situatie: V_1 dicht, V_2 open en u_{CB} laag.

Deze gang van zaken herhaalt zich bij de volgende periode van de wisselspanning. Het resultaat is, dat de sinusvormige spanning is omgevormd tot een blokvormige spanning met een bepaalde amplitude.

De ingangsspanning van de Schmitt-trigger behoeft niet sinusvormig te zijn, maar mag een willekeurig ander verloop hebben. Voorwaarde is wel dat de amplitude van de ingangsspanning zo hoog is dat het niveau

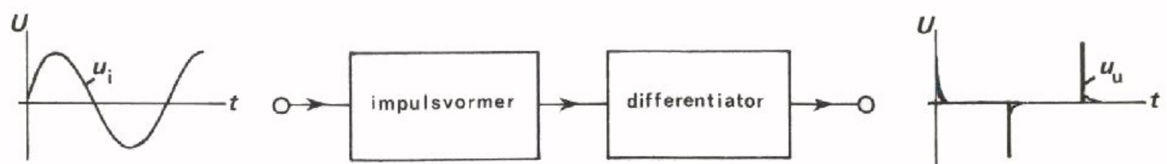
u_{ab1} / u_{ab2}	wordt bereikt.

HET GEBRUIK VAN IMPULSVORMERS

Er is in de praktijk vaak behoefte aan impulsvormers. We zullen een paar voorbeelden onder de loep nemen.

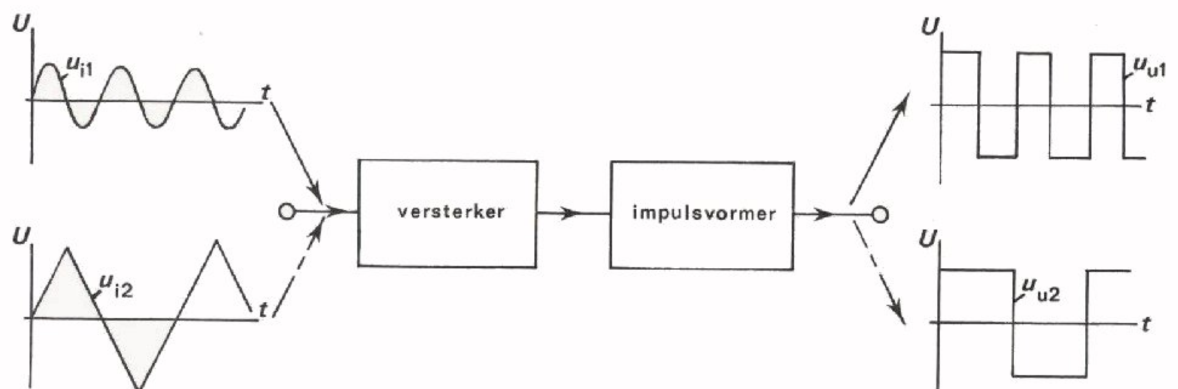
Voorbeeld 1

Men wil uitgaande van een sinusvormige wisselspanning een reeks piekvormige impulsen verkrijgen. Deze situatie kan zich voordoen als men voor het sturen van een schakeling of mechanisme "naaldvormige" impulsen nodig heeft. Naaldvormige impulsen kunnen geleverd worden door een differentiërende schakeling. De ingangsspanning van de differentiator moet dan echter blokvormig zijn. Deze blokvormige spanning betrekt men uit een *impulsvormer* die aan de ingang wordt gestuurd met de desbetreffende sinusvormige wisselspanning.



Voorbeeld 2

Men wil van willekeurige wisselspanningen die onderling kunnen verschillen in frequentie, amplitude en vorm, alleen de informatie "frequentie" overhouden. Deze situatie doet zich voor bij frequentiemeters. Deze meters moeten de juiste frequentie van een signaal aangeven onafhankelijk van de amplitude en de vorm van het ingangssignaal. De ingang van een frequentiemeter bestaat daarom meestal uit een versterker gevolgd door een *impulsvormer*. De versterker zorgt ervoor dat de amplitude van het ingangssignaal groot genoeg is om boven het werkingsniveau van de impulsvormer te komen. De *impulsvormer* maakt van elke willekeurige wisselspanning een "eenheidsblokspanning", waarvan alleen de frequentie verschillend kan zijn.



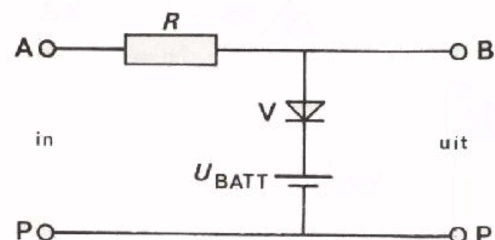
Ingangssignalen met verschillen in:
- amplitude
- frequentie
- vorm

Uitgangssignalen waarin uitsluitend de verschillen in frequentie zijn overgebleven

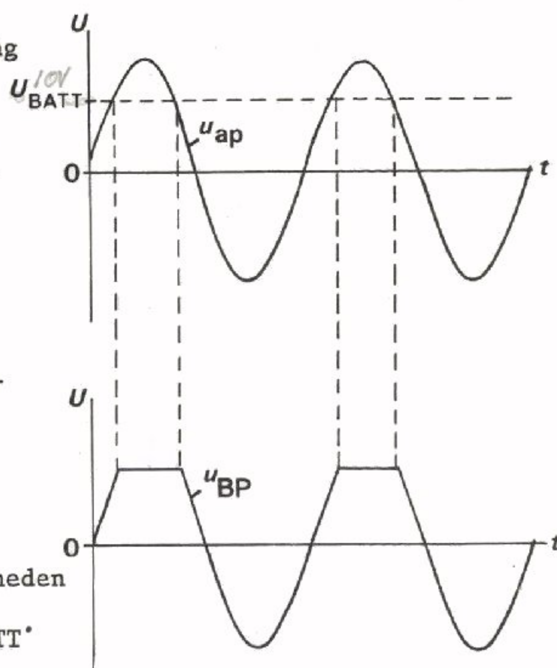
CLIPSCHAKELINGEN

Onder "clippen" wordt verstaan, het afknippen van de toppen van een signaal.

Deze schakeling is een *enkelzijdige* diode-clipper. De naam "enkelzijdig" wordt U verderop duidelijk gemaakt. De weerstand *R* vormt met de diode V een spanningsdeler. We nemen gemakshalve aan dat de diode geleidt bij een positieve anodespanning vanaf 0 V en dan een weerstand heeft van 0Ω. In sperrichting is de weerstand ∞ .



We sluiten bijv. een sinusvormige wisselspanning u_{ap} aan op de ingang. Zolang u_{ap} lager is dan de batterijspanning U_{BATT} is de diode gesperd ($R_V = \infty$). De uitgangsspanning u_{BP} is dan gelijk aan u_{ap}.



Zodra u_{ap} groter is dan U_{BATT} geleidt de diode, ($R_V = 0$). De uitgang van de schakeling is dan verbonden met de batterij; $u_{BP} = U_{BATT}$.

Op deze wijze ontstaat er een uitgangsspanning waarvan de positieve top is afgesneden. Hoe groot het afgesneden deel is hangt af van de waarde van U_{BATT}.

Er bestaan ook clip-schakelingen die de toppen zowel aan de positieve als aan de negatieve kant "knippen". Deze schakelingen noemen we de *dubbelzijdige* clipschakelingen. Aan zo'n schakeling gaan we op het volgende blad meten.

OEFENING

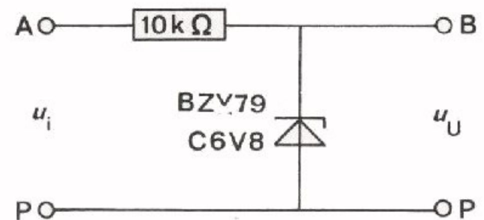
- Schets de spanning over de weerstand R van de enkelzijdige clipschakeling die op blad 16 is afgebeeld.

  De ingangsspanning en de uitgangsspanning verlopen zoals boven is weergegeven.



OPDRACHT: HET METEN AAN EEN DUBBELZIJDIGE CLIPSCHAKELING

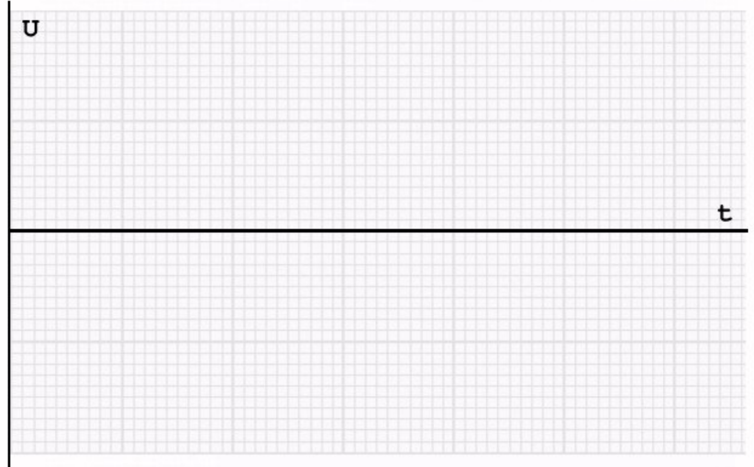
- Monteer deze schakeling op Uw paneel:



- Leg een sinusvormige spanning aan de ingang met een topwaarde van tenminste 10 V. Maak de frequentie 1 kHz.

- Maak zowel de ingangsspanning als de uitgangsspanning zichtbaar op een dubbelstraaloscilloscoop.

- Schets het verloop van de uitgangsspanning.



- Hoe groot is de top-top-waarde van de uitgangsspanning ?

U_{UTT} = V

DE WERKING VAN DEZE SCHAKELING

In sperrichting geleidt de BZY79 bij 6,7 V. Punt B kan dus niet positiever worden dan +6,7 V.
In doorlaatrichting geleidt de BZY79 bij 0,8 V. Punt B kan dus niet negatiever worden dan -0,8 V.

Aan de hand van deze gegevens verwacht men dat de top-top-waarde van de uitgangsspanning gelijk is aan:

6,7 + 0,8 V	O
6,7 - 0,8 V	O
6,7 V	O
0,8 V	O

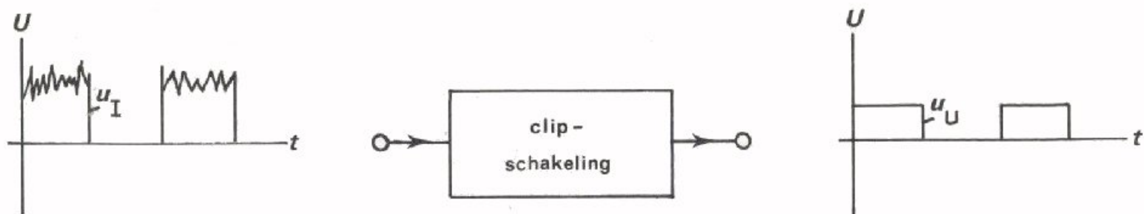
ENKELE TOEPASSINGEN VAN CLIPSCHAKELINGEN

Voorbeeld 1

Met behulp van een clipschakeling kan van een sinusvormig signaal een blokvormig signaal worden gemaakt. Dit hebt U ervaren in de vorige opdracht.

Voorbeeld 2

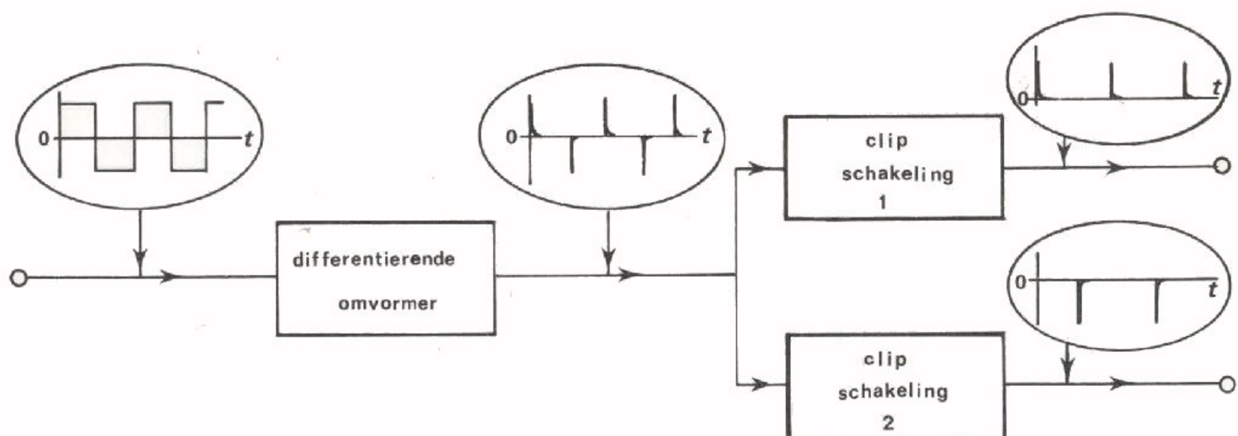
Met behulp van een clipschakeling kan men soms ongewenste stoorsignalen kwijt raken.



Door de bovenkant van de ingangsimpulsen af te snijden is men de stoorsignalen kwijt.

Voorbeeld 3

Een clipschakeling gebruikt men dikwijls ná een differentiërende schakeling om de positieve en negatieve spanningspieken van elkaar te scheiden.

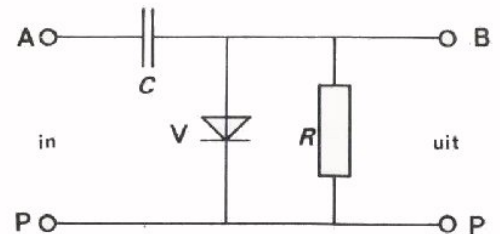


Clipschakeling 1 snijdt de negatieve spanningspieken weg. Op de uitgang van deze schakeling blijven dan de positieve pieken over. De frequentie hiervan is gelijk aan de frequentie van de kanteelvormige ingangsspanning.
Clipschakeling 2 snijdt de positieve spanningspieken weg. Hier blijven de negatieve pieken, met een frequentie gelijk aan die van de kanteelspanning over. Soms is het de bedoeling alléén positieve of alléén negatieve spanningspieken te verkrijgen. Eén van de clipschakelingen kan dan vervallen.

CLAMPSCHAKELINGEN

Met behulp van een clampschakeling wordt de onder- of bovenkant van een signaal tegen een bepaald gelijkspanningsniveau "gedrukt".

Een veel gebruikte clampschakeling is hier getekend. De diode V veronderstellen we gemakshalve ideaal. We bedoelen hiermee dat bij een positieve anodespanning de diodeweerstand nul is, en bij een negatieve anodespanning oneindig hoog.

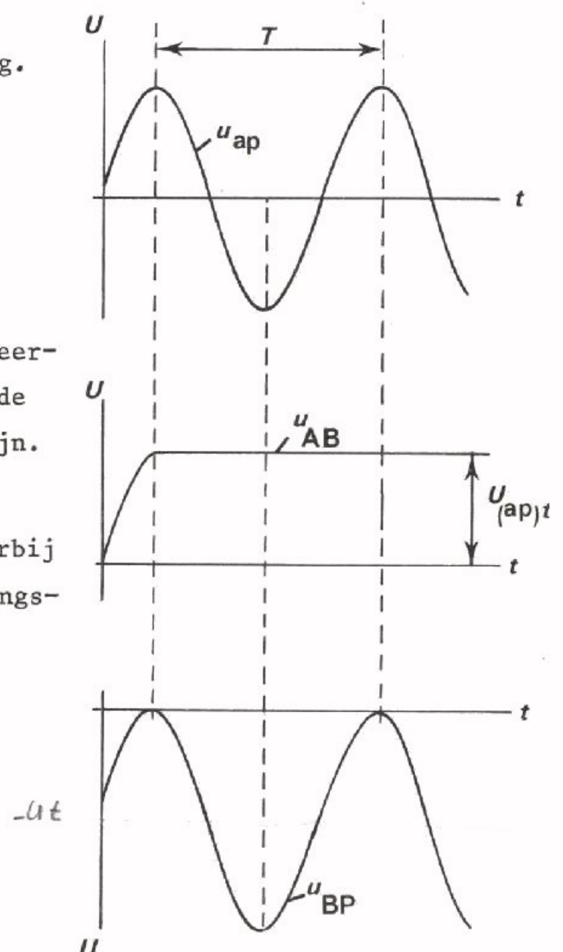


We sluiten bijvoorbeeld een sinusvormige spanning aan op de ingang van de schakeling. De condensator C wordt tijdens de eerste kwart-periode via de diode geladen tot de topwaarde van u_{ap}.

Gedurende de tijd dat A negatief is t.o.v. P kan de condensator zich niet ontladen omdat de diode dan gesperd is terwijl de weerstand R zeer groot is gekozen. Voor de goede werking van de schakeling moet $RC >> T$ zijn.

Over de condensator staat dus een gelijkspanning u_{AB} die gelijk is aan $U_{(ap)t}$, waarbij punt A positief is t.o.v. punt B. De uitgangsspanning $u_{BP} = u_{ap} - u_{AB}$.

De uitgangsspanning u_{BP} blijkt overeen te komen met de ingangsspanning u_{ap} met uitzondering van het gelijkspanningsniveau.



OPMERKING

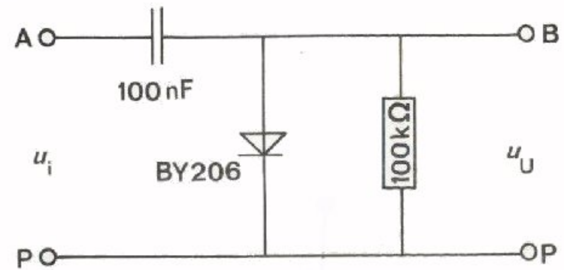
Met behulp van bovenstaande clampschakeling is de *bovenkant* van het ingangssignaal tegen het nulniveau gedrukt. Uit de opdracht op het volgend blad zal blijken dat men ook de *onderkant* van een signaal kan "vastklampen". Men schakelt de diode dan andersom.

OPDRACHT: HET METEN AAN EEN CLAMPSCHAKELING

- Monteer deze schakeling op Uw paneel.

  In deze schakeling is:

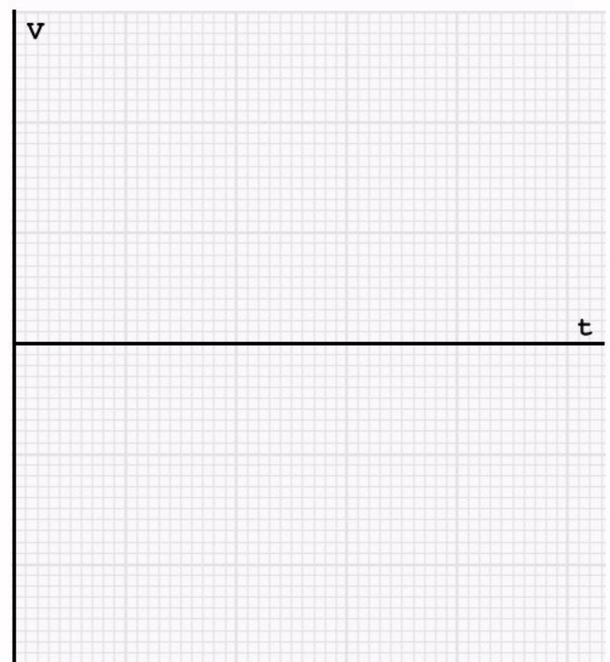
  RC = [   ] ms



- Voer een sinusvormige ingangsspanning toe met een topwaarde van 10 V en een frequentie van ca. 10 kHz. Gebruik de laagohmige uitgang van de generator.
- Maak gelijktijdig de ingangsspanning en de uitgangsspanning zichtbaar m.b.v. een dubbelstraaloscilloscoop (stand: DC).
- De *wissel*spanning op de uitgang is **gelijk/ongelijk** aan de wisselspanning op de ingang.

  De wisselspanning op de uitgang ligt **onder/boven** het nulniveau
- Keer de diode om en meet opnieuw de in- en uitgangsspanning.
- De wisselspanning op de uitgang is **gelijk/ongelijk** aan de wisselspanning op de ingang.
- De wisselspanning op de uitgang ligt **onder/boven** het nulniveau.
- Schets hiernaast het verloop van de uitgangsspanning (gelijkspanning + wisselspanning).

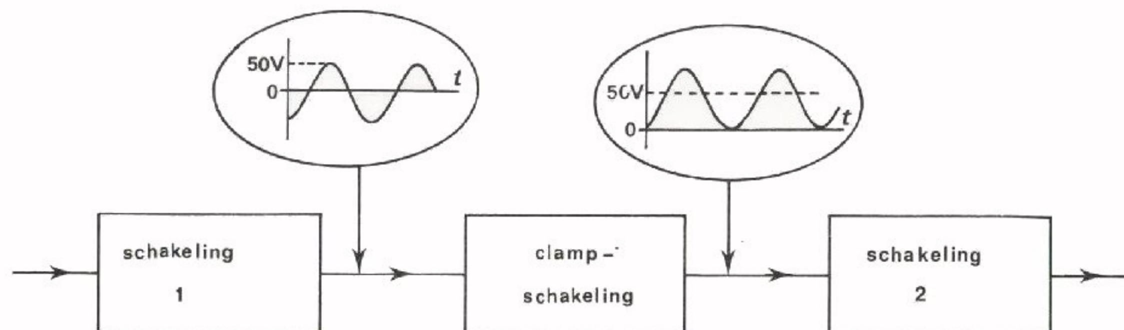
  Zet spanningswaarden langs de verticale as.



TOEPASSINGEN VAN CLAMPSCHAKELINGEN

Voorbeeld 1

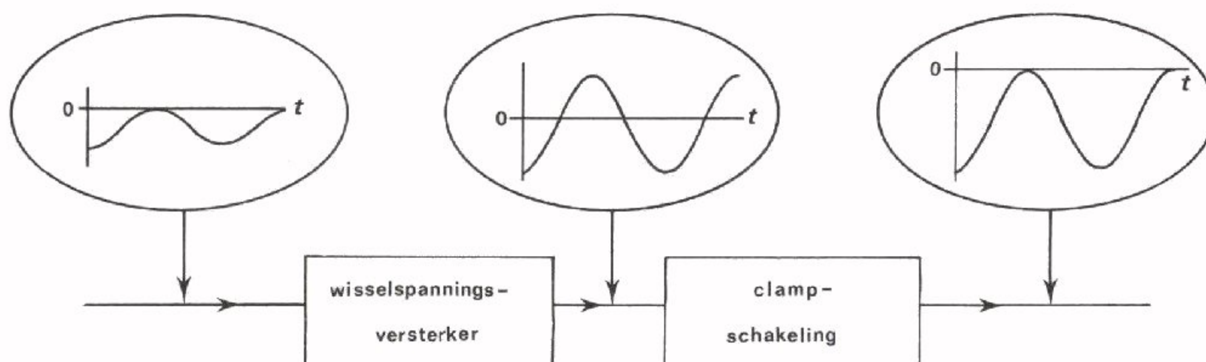
Een clampschakeling kan dienen als aanpassing tussen twee schakelingen die op een verschillend gelijkspanningsniveau werken.



Het gelijkspanningsniveau op de uitgang van schakeling 1 is bijv. 0 V terwijl aan de ingang van schakeling 2 een gelijkspanningsniveau van bijv. 50 V wordt vereist. Met behulp van een clampschakeling kan men dit bereiken. De wisselspanningscomponent op de uitgang van schakeling 1 wordt door de clampschakeling onverzwakt en onvervormd doorgegeven.

Voorbeeld 2

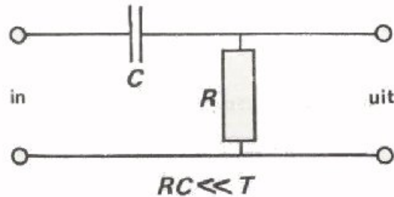
Een clampschakeling wordt vaak gebruikt om een gelijkspanningsniveau dat op de één of andere wijze verloren is gegaan, te herstellen.

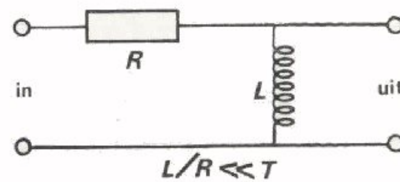


Aan de ingang van een wisselspanningsversterker ligt het signaal bijv. met de positieve toppen tegen het nulniveau. Op de uitgang van de versterker is de gelijkspanningscomponent verdwenen. Het nulniveau ligt dan precies tussen de positieve en negatieve top van de wisselspanning. De clampschakeling drukt de toppen van de versterkte spanning weer tegen het nulniveau aan zoals dit bij de oorspronkelijke ingangsspanning van de versterker het geval was.

SAMENVATTING

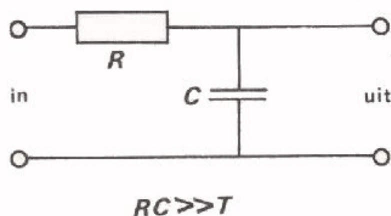
- *Differentiërende* omvormers zijn schakelingen die *snelle* ingangsspanningsveranderingen beter doorgeven dan langzame. Gelijkspanningen worden niet doorgegeven. De uitgangsspanning is naaldvormig als men een kanteelspanning toevoert.

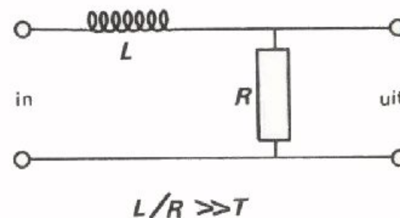




Differentiërende omvormers worden o.a. gebruikt om korte steile impulsen te verkrijgen.

- *Integrerende* omvormers zijn schakelingen die *langzame* ingangsspanningsveranderingen beter doorgeven dan snelle. De uitgangsspanning verloopt geleidelijk en nooit sprongsgewijze.





Integrerende omvormers worden o.a. gebruikt om driehoekvormige spanningen te verkrijgen uit kanteelspanningen.

- *Impulsvormers* zijn schakelingen die signalen met een willekeurige vorm omzetten in een blokvormig signaal.

  Voorbeelden waarbij men impulsvormers gebruikt.
  - het omvormen van een sinusvormig signaal in een blokvormig signaal.
  - het omvormen van wisselspanningen die onderling verschillen in frequentie, amplitude en vorm, in "eenheids"-blokspanningen waarin alleen de verschillen in *frequentie* overblijven.

- Met *clipschakelingen* kunnen de toppen van een signaal worden "afgeknipt". De uitgangsspanning vertoont dus afplattingen aan onder- en/of bovenkant.

  Clipschakelingen worden gebruikt voor:
  - het wegknippen van ongewenste (stoor-)spanningen.
  - het scheiden van de positieve en negatieve impulsen van een gedifferentiëerd signaal.

- Met *clampschakelingen* worden de toppen van een signaal tegen een bepaald gelijkspanningsniveau "gedrukt". Het verschil tussen in- en uitgangsspanning is dus het gelijkspanningsniveau.

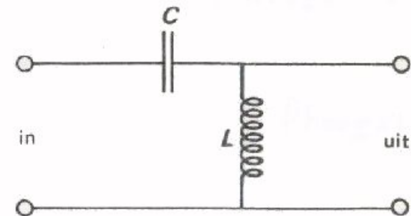
  Clampschakelingen gebruikt men:
  - Als aanpassing tussen twee schakelingen die op een verschillend gelijkspanningsniveau werken.
  - Om een gelijkspanningsniveau dat op één of andere manier verloren is gegaan, te herstellen.

NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN

1. Deze schakeling laat snelle ingangsspanningenveranderingen **beter/slechter** door dan langzame.



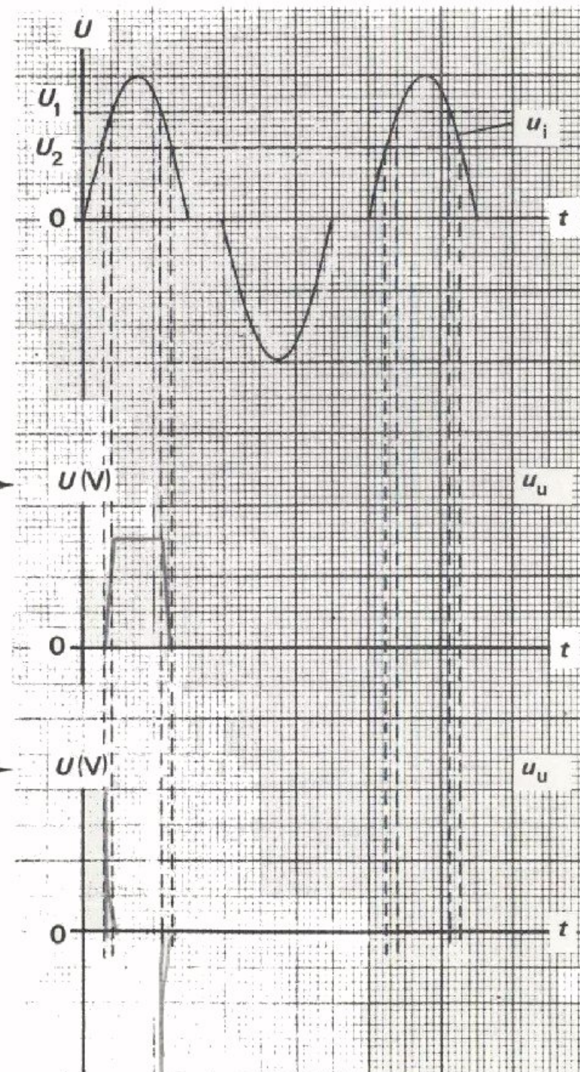
- De schakeling is een **integrerende/differentiërende** omvormer.

2. Hiernaast is de ingangsspanning van een Schmitt-trigger afgebeeld.

   De spanning U_1 is het niveau waarbij de uitgangsspanning *hoog* wordt (5 V).

   De spanning U_2 is het niveau waarbij de uitgangsspanning *laag* wordt (0 V).

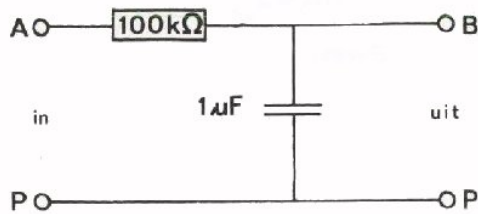
   - Schets in nevenstaande figuur het verloop van de uitgangsspanning van de Schmitt-trigger. (Zet spanningswaarden langs de verticale as).

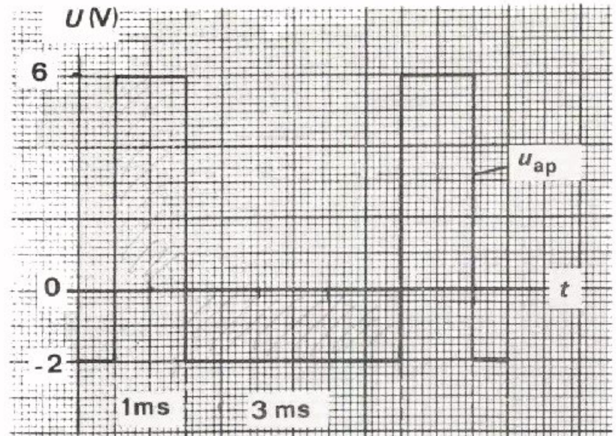


3. De Schmitt-trigger van opgave 2 wordt gevolgd door een *RC*-differentiator.

   - Teken het verloop van de uitgangsspanning van de differentiator. (Zet spanningswaarden langs de verticale as).

4.

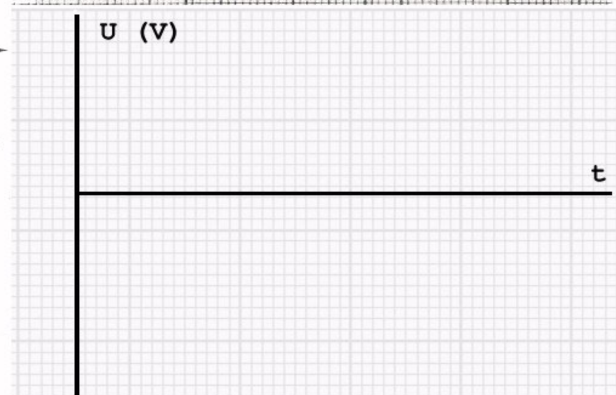




Bij deze integrator is:

RC <</>>/= T

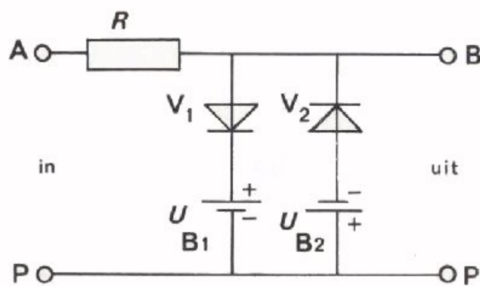
- Teken hiernaast het verloop van de uitgangsspanning u_{BP}.

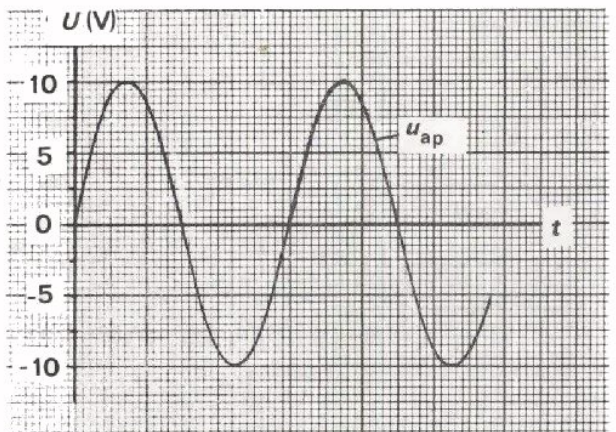


- Hoe groot is de top-top-waarde van u_{BP} ?

$u_{(BP)TT}$ = mV

5.





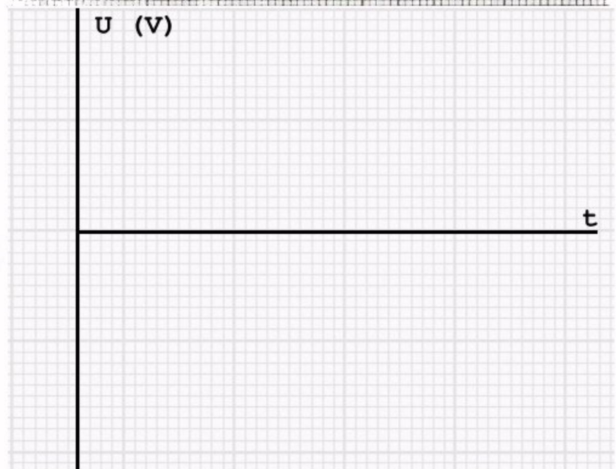
Van deze clipschakeling is:

U_{B1} = 5 V, U_{B2} = 2½ V.

De ingangsspanning u_{ap} is sinusvormig met een topwaarde van 10 V.

- Teken het verloop van de uitgangsspanning u_{BP}:

(De dioden V_1 en V_2 mag men als ideaal beschouwen).



C 22

OMVORMSCHAKELINGEN II

OMVORMERS DIE ZOWEL DE VORM ALS DE FREQUENTIE VAN EEN SIGNAAL VERANDEREN

HERHALING VOORGAANDE LES

In de vorige les hebben we een begin gemaakt met de functie *omvormen*. Omvormers zijn schakelingen die de *vorm* van een signaal veranderen óf de *frequentie* óf beide.

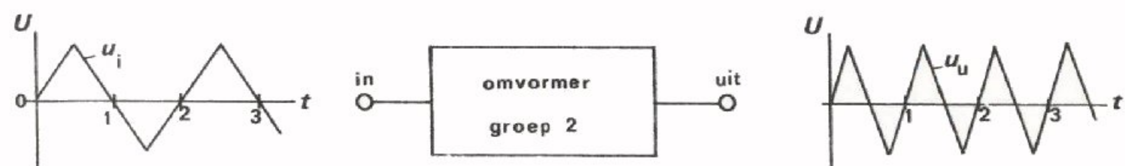
We hebben reeds een groep omvormers besproken die alléén de *vorm* van een signaal veranderen, maar niet de frequentie (groep 1).
In deze groep zijn een aantal soorten te onderscheiden:

- differentiërende omvormers
- integrerende omvormers
- impulsvormers
- clipschakelingen
- clampschakelingen

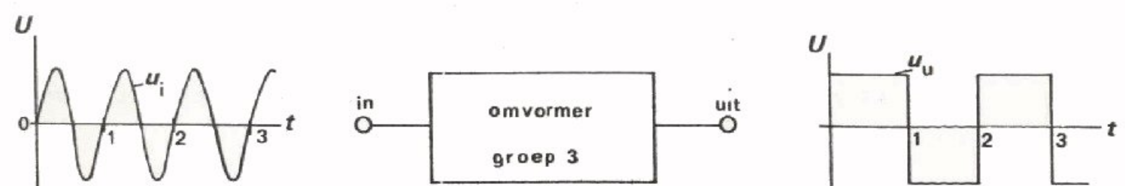
WAT DOEN WE IN DEZE LES ?

In deze les komen de twee andere groepen omvormers aan de orde:

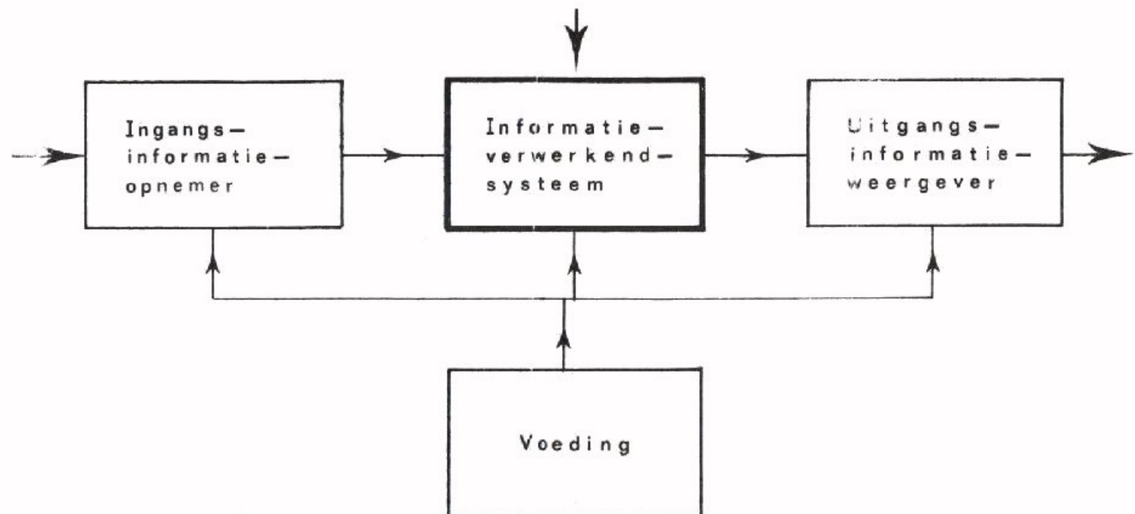
- Omvormers die het signaal zodanig verwerken dat alleen de *frequentie* verandert maar niet de vorm (groep 2).



- Omvormers die zowel de *vorm* als de *frequentie* van het signaal veranderen (groep 3).



OMVORMEN IS EEN ONDERDEEL VAN INFORMATIEVERWERKING

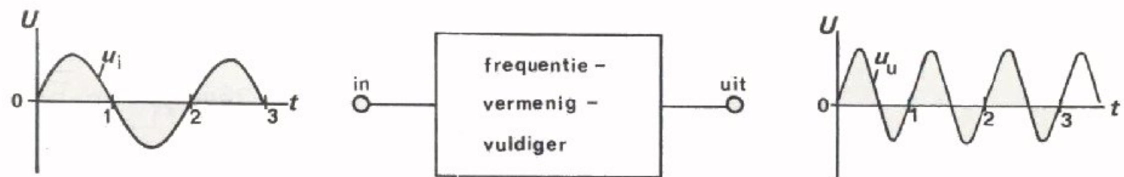


WELKE SOORTEN OMVORMERS VAN GROEP 2 EN 3 KOMEN AAN DE ORDE ?

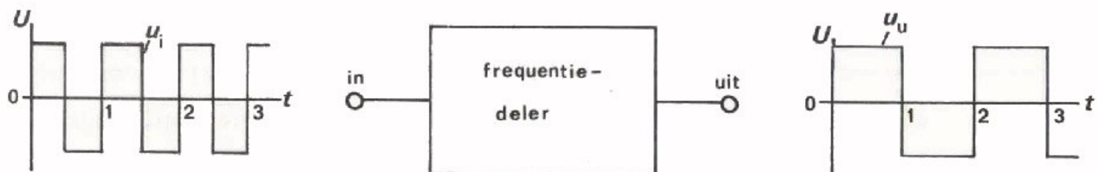
In groep 2 en 3 zijn een aantal soorten omvormers te onderscheiden. We zullen ze niet allemaal behandelen, maar volstaan met voorbeelden. De keuze is gevallen op enkele schakelingen die in de praktijk veel voorkomen.

Van groep 2 behandelen we:

- *Frequentie-vermenigvuldigers.*
  Met deze schakelingen kan men de frequentie van een signaal met een geheel getal vermenigvuldigen.

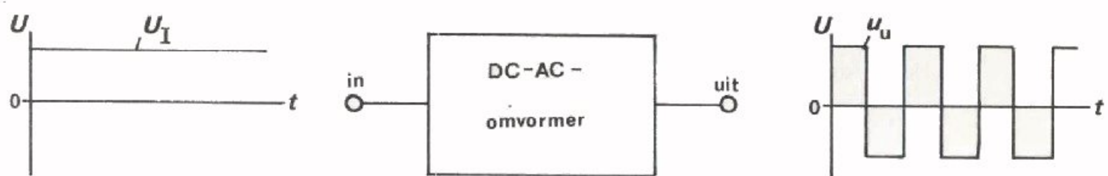


- *Frequentie-delers.*
  Met deze schakelingen wordt de frequentie van het ingangssignaal door een geheel getal gedeeld.

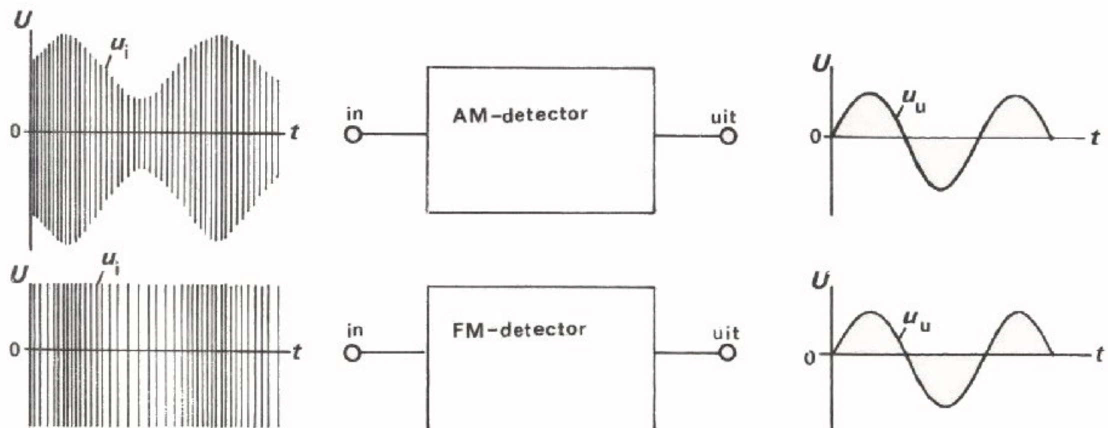


Van groep 3 nemen we onder de loep:

- *DC-AC-Omvormers.*
  Deze schakelingen vormen gelijkspanning om in wisselspanning.

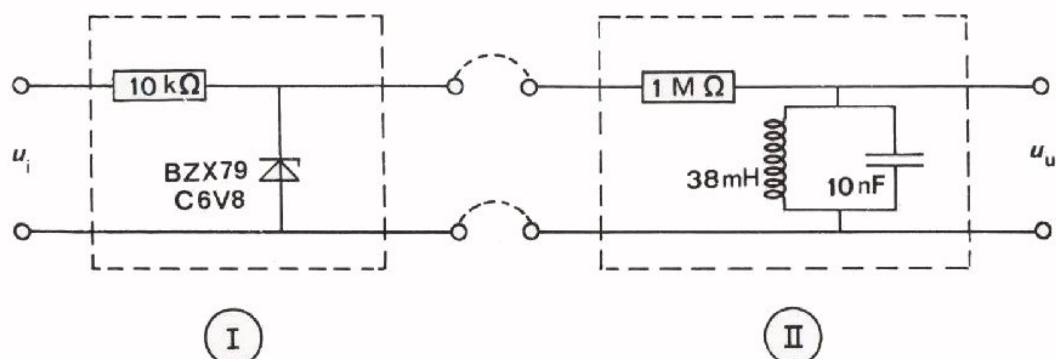


- *AM- en FM-detectors.*
  Dit zijn schakelingen waarmee een gemoduleerd HF-signaal wordt omgevormd tot een LF-signaal.



OPDRACHT: EEN FREQUENTIEVERMENIGVULDIGER

- Monteer de schakelingen I en II op Uw paneel.
  Verbind de schakeling I nog *niet* met schakeling II.



- De werking van schakeling I kennen we al uit de vorige les.
  Het is een [ ] -schakeling.

  Hoe verloopt de uitgangsspanning van deze schakeling als we de ingang sturen met een sinusvormige spanning waarvan de amplitude veel groter is dan de zenerspanning van de diode ?

  De uitgangsspanning verloopt dan:
  O sinusvormig
  O blokvormig
  O driehoekvormig
  O piekvormig

- Sluit een sinusvormige spanning aan op de ingang van schakeling I. Maak de amplitude maximaal (tenminste 10V) en regel de frequentie op ca. 8 kHz.

- Bekijk de uitgangsspanning van blok I op een oscilloscoop. Is het antwoord dat U boven hebt gegeven juist ?

- Verbind de uitgang van schakeling I met de ingang van schakeling II.

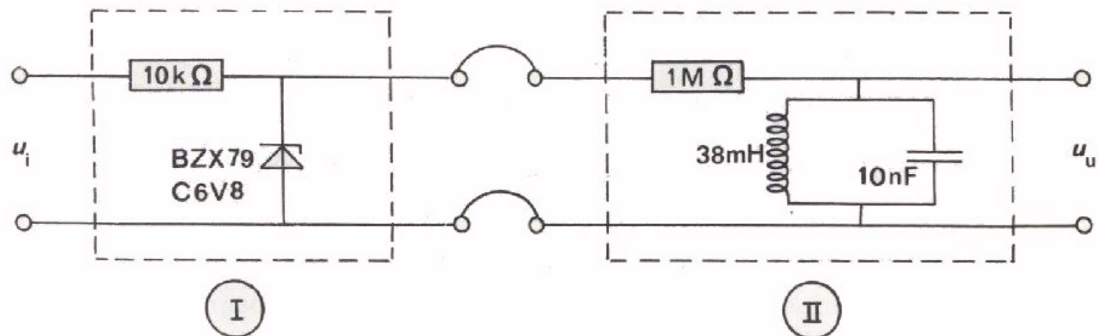
- Maak m.b.v. een dubbelstraaloscilloscoop de ingangsspanning én de uitgangsspanning van de totale schakeling zichtbaar.

- Variëer de frequentie van de ingangsspanning in de buurt van 8 kHz tot de uitgangsspanning sinusvormig is en een maximale amplitude heeft.

- Vergelijk de *frequentie* van de uitgangsspanning met die van de ingangsspanning. (De frequentie van de ingangsspanning noemen we hier f_{i1}, en die van de uitgangsspanning f_{u1}).

  f_{u1} is **gelijk/niet gelijk** aan f_{i1} .

Hieronder is nogmaals de schakeling van de opdracht afgebeeld. We gaan nu ervaren dat met deze schakeling frequentie-vermenigvuldiging tot stand kan worden gebracht.



- Variëer de frequentie van de ingangsspanning in de buurt van $\frac{1}{2}f_{i1}$, totdat er wéér een sinusvormige uitgangsspanning met maximale amplitude op de oscilloscoop zichtbaar wordt.

  Vergelijk de frequentie van de uitgangsspanning (f_{u2}) met die van de ingangsspanning (f_{i2}).

  f_{u2} = ☐ maal f_{i2}

- Herhaal voorgaande meting bij een frequentie van de ingangsspanning in de buurt van $\frac{1}{3} f_1$.

  f_{u3} = ☐ maal f_{i3}

- Voer deze meting ook uit bij frequenties in de buurt van: $\frac{1}{4} f_{i1}$, $\frac{1}{5} f_{i1}$ en $\frac{1}{6} f_{i1}$.
- Verzamel alle meetresultaten in de volgende tabel.

f_{u1} =	x f_{i1}
f_{u2} =	x f_{i2}
f_{u3} =	x f_{i3}
f_{u4} =	x f_{i4}
f_{u5} =	x f_{i5}
f_{u6} =	x f_{i6}

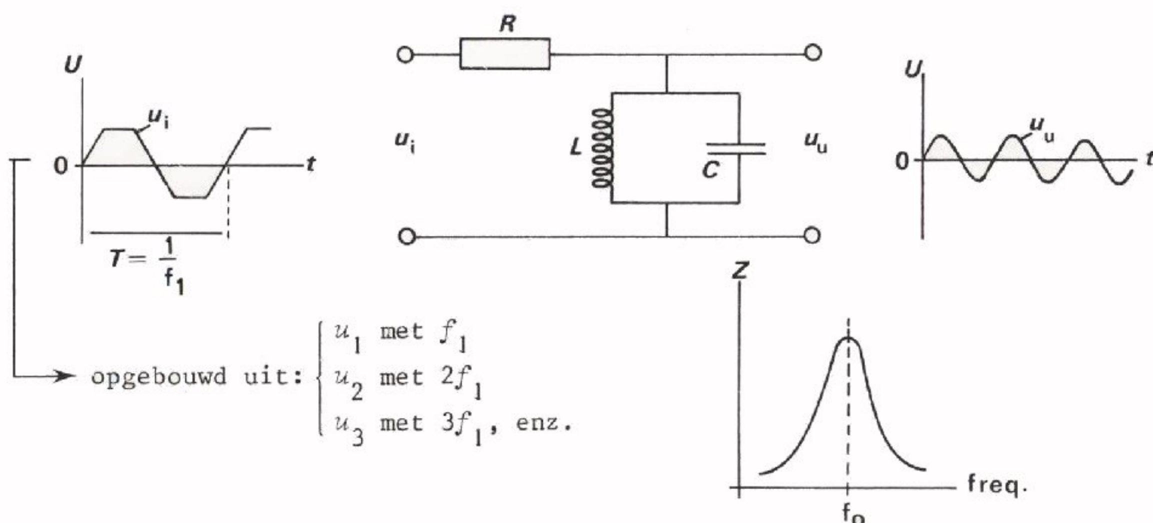
HOE WERKT DE FREQUENTIEVERMENIGVULDIGER ?

Om de werking van een frequentievermenigvuldiger te kunnen begrijpen moet U eerst het volgende weten.

Een *niet*-sinusvormige wisselspanning (bijv. een blokspanning, een zaagtandspanning of een driehoekspanning) is altijd opgebouwd uit een aantal *zuiver* sinusvormige wisselspanningen. (Op de volgende pagina's zullen we dit aan de hand van voorbeelden aantonen).

Iedere niet-sinusvormige spanning bevat een zogenaamde *grondgolf* (u_1). Dit is een sinusvormige spanning met een frequentie f_1 die *gelijk* is aan de frequentie van een niet sinusvormig signaal. Verder bevat het niet-sinusvormige signaal een aantal sinusvormige spanningen met frequenties die een *veelvoud* zijn van f_1. Deze sinusvormige signalen noemen we de *harmonischen* van de grondgolf. De tweede harmonische (u_2) heeft een frequentie $2f_1$, de derde harmonische (u_3) een frequentie $3f_1$, enz. Meestal is de amplitude van de grondgolf groter dan de amplitude van de harmonischen. Sommige niet-sinusvormige signalen bevatten uitsluitend *even* harmonischen $2f_1$, $4f_1$, $6f_1$, enz. óf alleen de *oneven* harmonischen $3f_1$, $5f_1$, $7f_1$, enz. óf beiden. Op het volgende blad komen we hierop terug.

Hier is nogmaals schakeling II van de frequentievermenigvuldiger uit de opdracht afgebeeld.



De ingangsspanning is blokvormig. Deze is opgebouwd uit een sinusvormige grondgolf plus sinusvormige harmonischen.

De resonantiekring is afgestemd op $f_o \simeq 8$ kHz. Bij deze frequentie is de impedantie van de kring maximaal. Bij hogere en lagere frequenties dan f_o is de kringimpedantie véél lager. Schakeling II laat dus uitsluitend sinusvormige spanningen door met een frequentie van ongeveer 8 kHz.

- Als de frequentie van de niet-sinusvormige ingangsspanning $\frac{1}{3} f_o$ kHz is, dan zal van de ingangsspanning uitsluitend de [ ]^e harmonische worden doorgegeven.
- De frequentie van u_u is dan [ ] maal zo hoog als de frequentie van u_i.

DE SAMENSTELLING VAN EEN BLOKVORMIGE SPANNING

We hebben beweerd, en tijdens de meting ook ervaren, dat een *niet-sinusvormige* spanning is opgebouwd uit een aantal sinusvormige signalen met uiteenlopende amplituden en frequenties.

We gaan nu eens na uit welke sinusvormige signalen een *zuivere blokspanning* is samengesteld. In onderstaande figuur zijn met stippellijnen de volgende sinusvormige spanningen weergegeven.

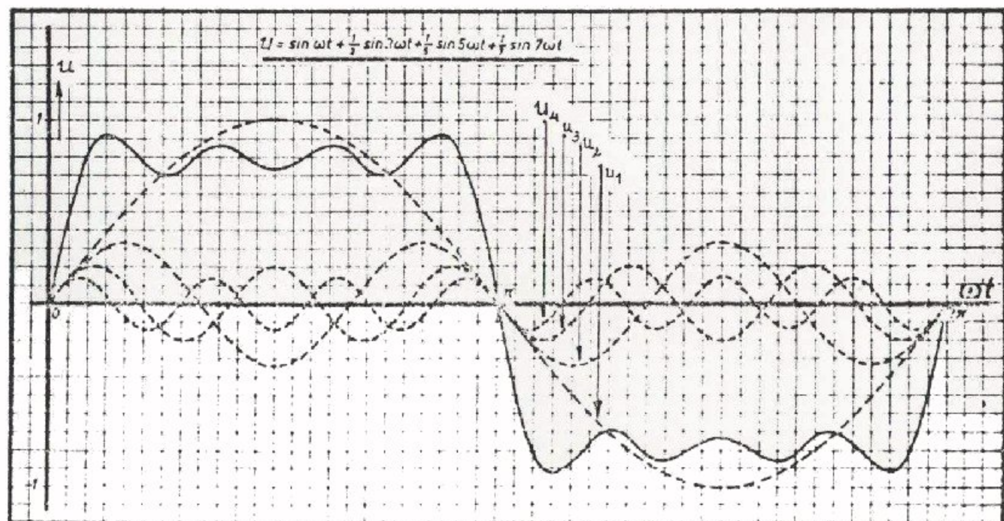
- u_1, de grondgolf met een frequentie $f_1 \longrightarrow u_1 = 1 \sin \omega t$
- u_2, ($U_{2t} = \frac{1}{3} U_{1t}$) met een frequentie $3f_1 \longrightarrow u_2 = \frac{1}{3} \sin 3\, \omega t$
- u_3, ($U_{3t} = \frac{1}{5} U_{1t}$) met een frequentie $5f_1 \longrightarrow u_3 = \frac{1}{5} \sin 5\, \omega t$
- u_4, ($U_{4t} = \frac{1}{7} U_{1t}$) met een frequentie $7f_1 \longrightarrow u_4 = \frac{1}{7} \sin 7\, \omega t$

Het optellen van deze spanningen levert een getrokken kromme op. Deze kromme lijkt al enigszins op een blokspanning. Door toevoeging van nog hogere harmonischen ($\frac{1}{9}\, U_{1t}$ met een frequentie $9f_1$, $\frac{1}{11}\, U_{1t}$ met $11f_1$, enz.) wordt de helling van de totaalspanning steiler en het "dak" vlakker.
(Ga dit eventueel zelf na).

We kunnen dus vaststellen dat een zuivere blokspanning is samengesteld uit een grondgolf met de frequentie f_1 plus *oneven* harmonischen.

De amplituden van de harmonischen zijn omgekeerd evenredig met hun frequenties.

Dus: $u_{tot} = 1 \sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \ldots\ldots$enz.



DE SAMENSTELLING VAN EEN ZAAGTANDVORMIGE SPANNING

Op het vorige blad hebben we aangetoond dat een zuivere blokspanning is opgebouwd uit een sinusvormige grondgolf (f_1) plus oneven harmonischen ($3f_1$, $5f_1$, $7f_1$, enz.) .

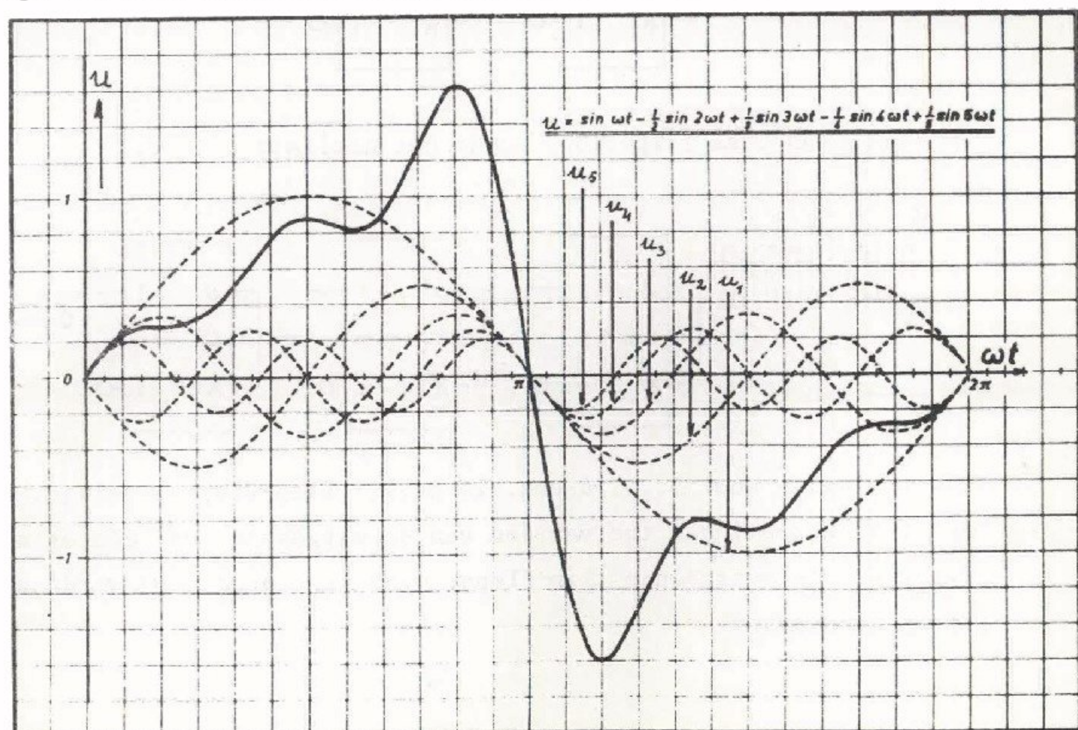
We zullen nu nagaan uit welke sinusvormige signalen een *zuivere zaagtandspanning* is samengesteld.

In onderstaande tekening zijn met stippellijnen de grondgolf en een aantal harmonischen van een zaagtandspanning weergegeven.

- u_1, de grondgolf met een frequentie f_1
- u_2, de 2e harmonische met een frequentie $2f_1$
- u_3, de 3e harmonische met een frequentie $3f_1$
- u_4, de 4e harmonische met een frequentie $4f_1$
- u_5, de 5e harmonische met een frequentie $5f_1$.

Het optellen van deze spanningen levert de getrokken kromme op. Deze kromme begint al enigszins op een zaagtandspanning te lijken. Door nog meer harmonischen (u_6 met $6f_1$, u_7 met $7f_1$, enz.) toe te voegen wordt gedurende de slagtijd de zaagtandspanning meer lineair en tevens de terugslagtijd korter.

Een zuivere zaagtandspanning is dus opgebouwd uit een sinusvormige grondgolf plus *even* én *oneven* harmonischen. De amplituden van de harmonischen zijn ook hier omgekeerd evenredig met hun frequenties.



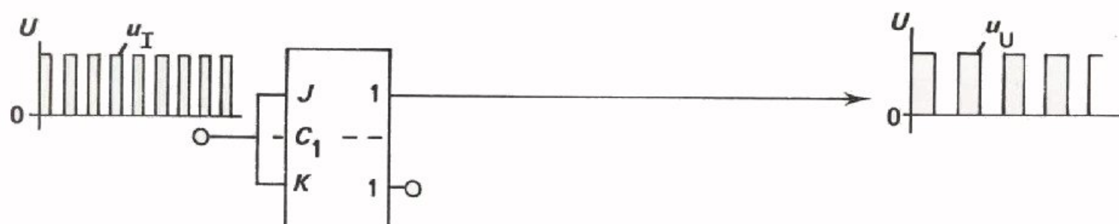
FREQUENTIEDELERS

Frequentiedelers zijn omvormers waarvan de uitgangsspanning een frequentie heeft die een geheel aantal malen lager is dan de frequentie van de ingangsspanning.

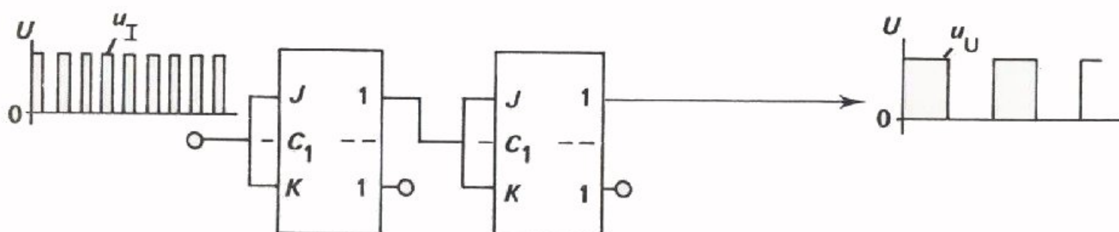
Tegenwoordig zijn in hoofdzaak de zogenaamde *flip-flop-frequentiedelers* in gebruik. Aangezien dit typisch *digitale* vorm van informatieverwerking is, gaan we daar in deze les niet uitgebreid op in.

De werking van een flip-flop-schakeling of bistabiele multivibrator wordt besproken in D15. Over frequentiedelers vindt u het een en ander in D23.

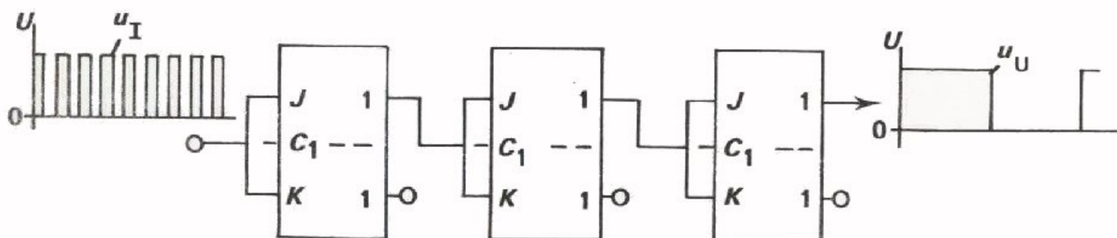
Met behulp van een JK-flip-flop is het mogelijk de frequentie van een blokvormig signaal te halveren; te delen door 2.



Schakelen we twee van deze JK-flip-flops achter elkaar dan verkrijgen we een deling door: $2 \times 2 = 2^2 = 4$.



Met drie van deze flip-flops wordt het deeltal: $2^3 = 8$.



Ook het delen door 3, 5, 6 enz. is m.b.v. flip-flops mogelijk. Men past dan terugkoppelingen toe van één van de uitgangen naar één of meerdere ingangen van voorgaande flip-flops. Op het volgend blad wordt dit schematisch aangegeven.

FREQUENTIEDELING M.B.V. FLIP FLOP'S VOLGENS HET TERUGKOPPELPRINCIPE

Deeltal	Schakelschema's met flip-flop's
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	

U kunt in dit overzicht een bepaalde regelmaat ontdekken. Bijvoorbeeld:

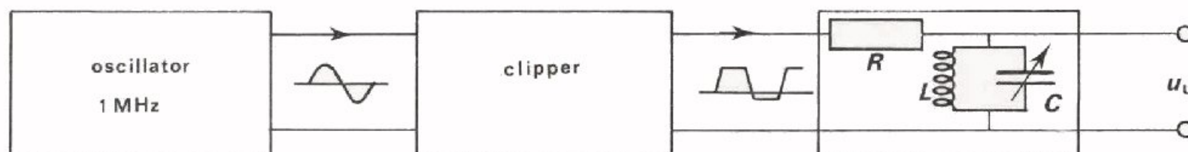
- Een deling van 2^4 wordt verkregen m.b.v. 4 flip-flops zonder tegenkoppeling.
- Door tegenkoppeling vanaf flip-flop 4 naar 1, wordt *een* deling ($1 = 2^0$) overgeslagen. Het deeltal is dan 16 - 1 = 15.
- Door tegenkoppeling vanaf 4 naar 2, worden *twee* delingen ($2 = 2^1$) overgeslagen. Het deeltal is 16 - 2 = 14.
- Door tegenkoppeling vanaf 4 naar 1 én 2 worden *drie* ($2^0 + 2^1$) delingen overgeslagen. Deeltal 16 - 3 = 13.
- Door tegenkoppeling van 4 naar 3 worden *vier* (2^2) delingen overgeslagen.

PRAKTISCHE TOEPASSINGEN VAN FREQUENTIE-VERMENIGVULDIGERS EN DELERS

Vermenigvuldig- en deelschakelingen worden in de praktijk gebruikt als men van een signaal met een bepaalde frequentie , andere signalen wil afleiden waarvan de frequentie een factor 2, 3, 4 enz. hoger of lager moet zijn.

Toepassing van een frequentievermenigvuldiger.

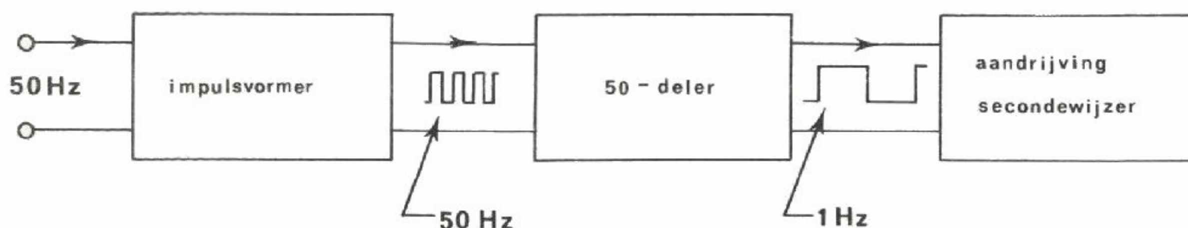
Soms heeft men een aantal signalen nodig waarvan de frequenties nauwkeurig bekend moeten zijn. Voor het ijken van een frequentiemeter wil men bijv. 1, 2, 3, 4 en 5 MHz ter beschikking hebben. Men zou in dit geval vijf aparte oscillatoren kunnen bouwen. Dit is een dure oplossing, vooral omdat hier zulke hoge eisen worden gesteld aan de frequentienauwkeurigheid en de stabiliteit. Een veel betere oplossing is, *één* goede oscillator te maken en de frequentie van het signaal hiervan een factor 1, 2, 3, 4 en 5 te vermenigvuldigen.



De clipschakeling zorgt voor een zodanige spanningsvorm dat daarin de 2e 3e, 4e en 5e harmonische goed zijn vertegenwoordigd.
Met behulp van de variabele condensator C wordt de kring achtereenvolgens afgestemd op 1, 2, 3, 4 en 5 MHz. Op deze wijze verkrijgt men een uitgangssignaal met een frequentie van óf 1 MHz, óf 2 MHz, ...enz.
Men kan i.p.v. één resonantiekring ook vijf aparte kringen toepassen. Deze worden dan afgestemd op resp. 1, 2, 3, 4 en 5 MHz. Op deze wijze verkrijgt men *tegelijk* vijf uitgangssignalen met de gewenste frequenties.

TOEPASSING VAN EEN FREQUENTIEDELER

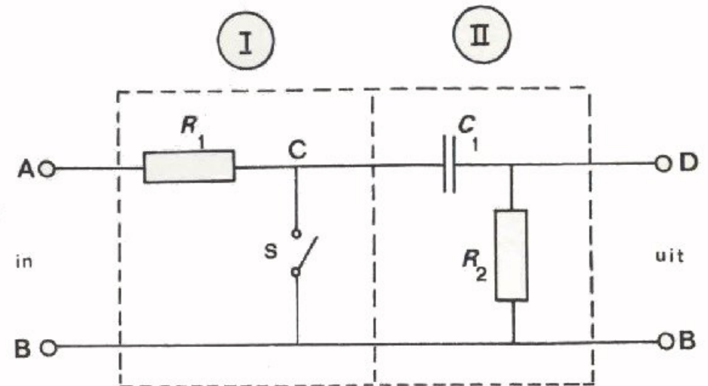
In de meeste digitale klokken is de tijdsinformatie afgeleid van de netfrequentie. De *gemiddelde* netfrequentie wordt in de centrale nauwkeurig op 50 Hz gehouden. M.b.v. een 50-deler verkrijgt men 1 Hz, dus één impuls per seconde. Met deze impuls wordt de secondewijzer van de klok bediend. Via tandwielen worden door de secondewijzer de minuten- en de uurwijzer aangedreven.



DC-AC-OMVORMERS

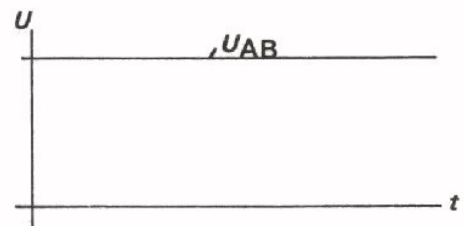
DC-AC-omvormers zijn schakelingen die een gelijkspanning omvormen tot een evenredige wisselspanning. Dergelijke omvormers worden bijv. toegepast in chopperversterkers, die in C7 zijn behandeld. (Op pagina 13 van deze les vindt U nogmaals het blokschema van deze versterker).

De eenvoudigste schakeling om gelijkspanning om te vormen tot wisselspanning is hiernaast afgebeeld.

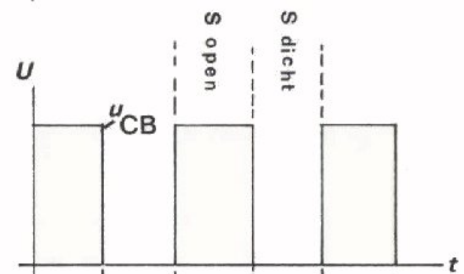


De om te vormen gelijkspanning wordt aangesloten tussen de punten A en B. De schakelaar S gaat afwisselend open en dicht in een ritme van bijv. 50 keer per seconde.

Gedurende de tijd dat S geopend is, staat op punt C dezelfde spanning als op punt A.

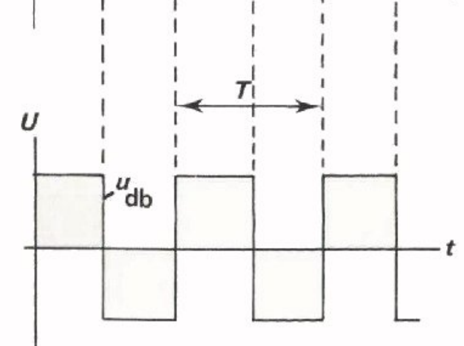


Gedurende de tijd dat S gesloten is, ligt punt C aan B. (De weerstand R_1 voorkomt dat U_{AB} wordt kortgesloten).



Aldus ontstaat de pulserende gelijkspanning u_{CB}. De *gelijkspannings*component van u_{CB} wordt door de condensator C_1 geblokkeerd. De *wissel-spannings*component komt over de weerstand R_2 te staan (u_{db}).

Om te voorkomen dat het R_2C_1-netwerk als differentiator werkt, maakt men $R_2C_1 >> T$.



Deel I van de schakeling vormt de *zuivere* gelijkspanning om tot een *pulserende* gelijkspanning.

Deel II van de schakeling vormt de *pulserende gelijk*spanning om tot een *zuivere wissel*spanning.

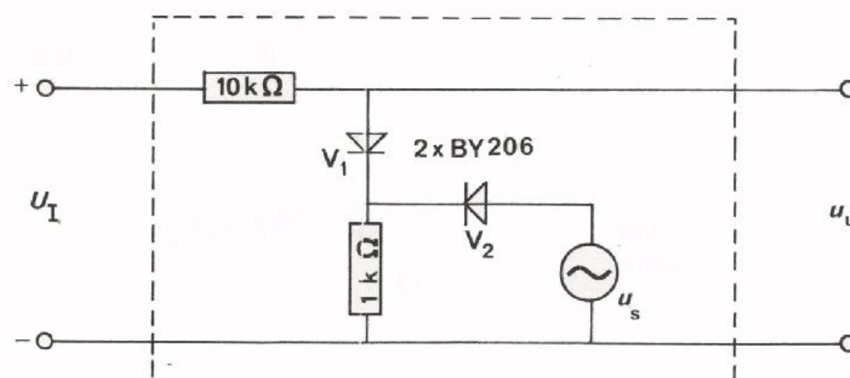
Vroeger gebruikte men voor S een mechanische schakelaar die d.m.v. een magnetisch systeem, in het ritme van de netfrequentie, werd geopend en gesloten. Tegenwoordig past men in hoofdzaak electronische schakelelementen toe. Dioden en transistors zijn als schakelaar uitstekend geschikt.

In de nu volgende opdracht maken we gebruik van een DC-AC-omvormer met *diode*-schakelaar.

OPDRACHT: HET METEN AAN EEN DC-AC-OMVORMER

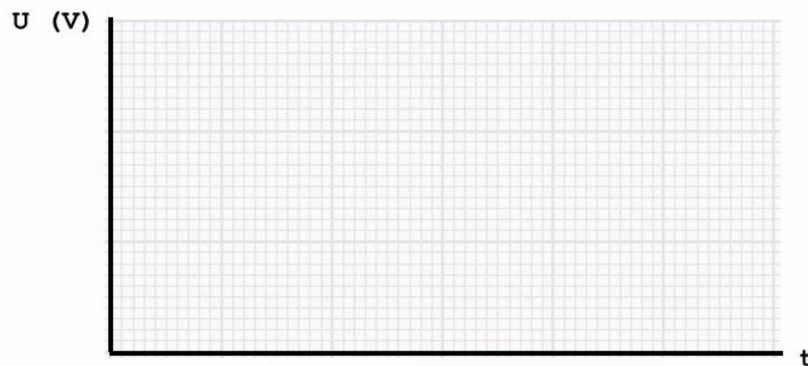
De schakeling waaraan we direct gaan meten is hieronder afgebeeld. De diode V_1 doet dienst als schakelaar. Het open en dicht sturen hiervan gebeurt m.b.v. een schakelspanning u_s. Deze wordt via diode V_2 toegevoerd. De juiste werking van deze omvormer wordt op de volgende bladzijde uitgelegd.

- Monteer deze schakeling op Uw paneel.



- Sluit op de ingang van de omvormer een gelijkspanning aan van ca. 2 V.
- Voer via de diode V_2 een sinusvormige spanning toe met een topwaarde van 10 V of meer en een frequentie van 1 kHz.
- Meet de uitgangsspanning m.b.v. een oscilloscoop (stand DC).

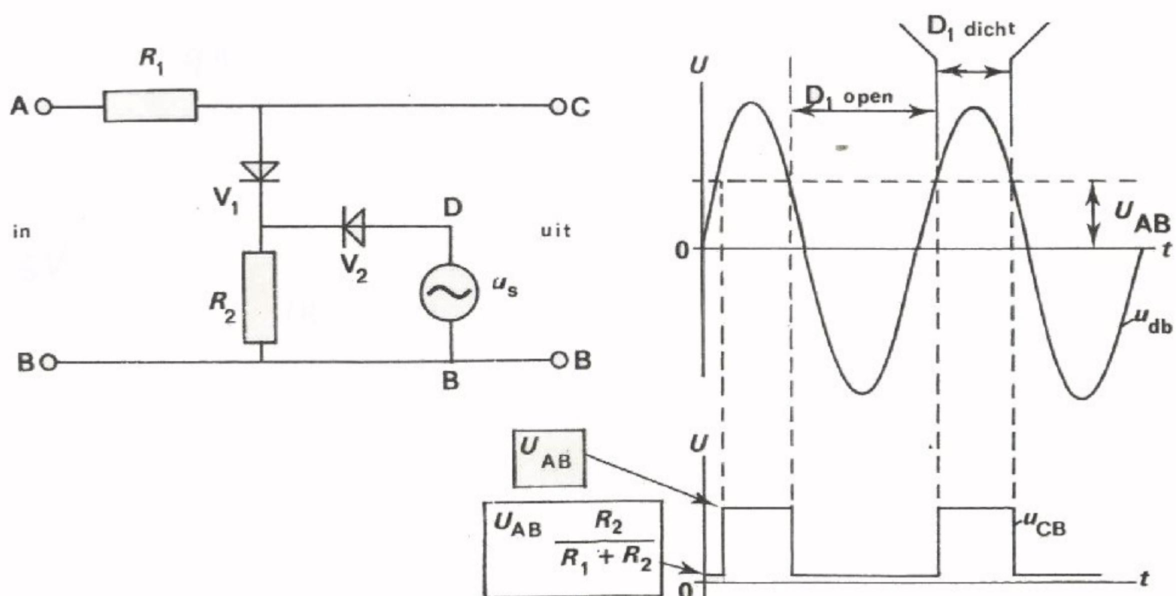
Teken het verloop van de uitgangsspanning. Let hierbij op het "0"-niveau.



- Zet de oscilloscoop in de stand AC.(We meten nu de zuivere wisselspanning). De top-top-waarde is u_{Utt} = [V]
- De frequentie van u_U is, f = [Hz]
- Verhoog de gelijkspanning tot 4 V en verlaag de frequentie van de wisselspanning tot 100 Hz.
- Meet nogmaals de uitgangswisselspanning.
  De top-top-waarde is nu U_{tt} = [V]
  De frequentie van u_U is, f = [Hz]

HOE WERKT DEZE DC-AC-OMVORMER

Hieronder is nogmaals de schakeling uit de opdracht getekend.



We hebben in de opdracht het volgende geconstateerd:

- De schakeling zet een zuivere gelijkspanning om in een pulserende gelijkspanning.
- De uitgangsspanning is blokvormig.
- De frequentie van de uitgangsspanning is gelijk aan die van de schakelspanning.

Hoe gaat dit in zijn werk ?

De schakelspanning u_{db} maakt de kathode van V_1 afwisselend positief en nul. (V_2 vormt met R_2 een enkelzijdige gelijkrichter). Zolang de kathode van V_1 positiever is dan punt A, is V_1 gesperd. De uitgangsspanning u_{CB} is dan gelijk aan u_{AB}. Op het moment dat de kathode van V_1 negatief wordt t.o.v. punt A, wordt V_1 geleidend. De uitgangsspanning daalt dan tot :

$$u_{AB} \frac{R_2}{R_1 + R_2} .$$

(De kniespanning van ca. 0,8 V van V_1 is hierbij buiten beschouwing gelaten).

De diode V_2 zorgt ervoor dat de schakelspanning niet op de uitgang terecht kan komen. Zodra V_1 gaat geleiden, spert V_2.

OEFENING

In bovenstaande schakeling is u_{AB} = 5 V, R_1 = 9 kΩ en R_2 = 1 kΩ
De hulpspanning u_{db} is voldoende groot om V_1 open en dicht te sturen. De dioden V_1 en V_2 mag men als ideale schakelaars (zonder kniespanning) beschouwen.

- Hoe groot is u_{CB} als V_1 gesperd is ? u_{CB} = [ ] V
- Hoe groot is u_{CB} als V_1 geleidend is ? u_{CB} = [ ] V
- Bepaal de top-top-waarde van wisselspanningscomponent in u_{CB}.

$U_{CB(tt)}$ = [ ] V

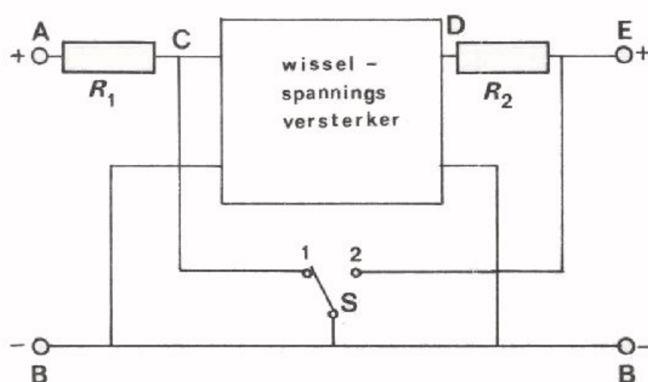
SYNCHRONE OMVORMERS

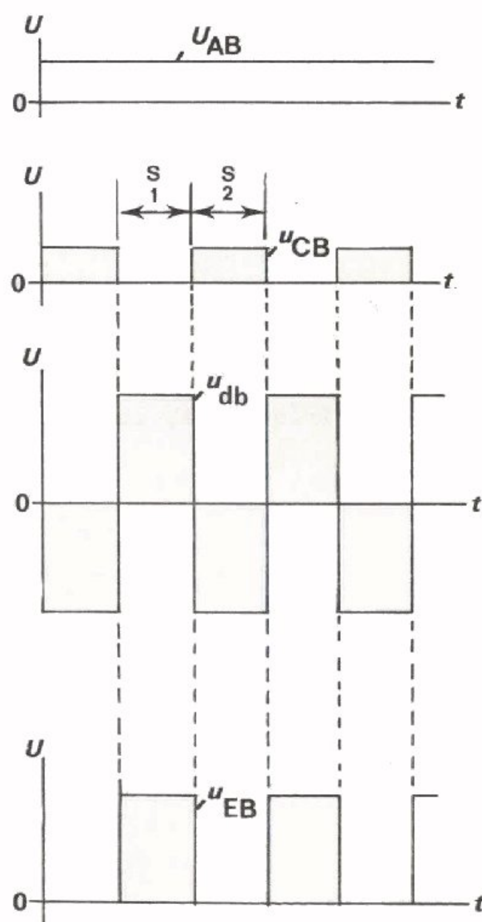
In de volgende figuur is nogmaals het blokschema van een zogenaamde chopperversterker afgebeeld.



Zoals we weten wordt een chopperversterker gebruikt om zeer kleine gelijkspanningen te versterken. Voor dit doel is een gelijkspanningsversterker ongeschikt t.g.v. de "gelijkspanningsdrift" in de versterker zelf. Bij een chopperversterker wordt aan de ingang de gelijkspanning omgevormd tot een wisselspanning (DC-AC-omvorming). De wisselspanning wordt versterkt, en aan de uitgang weer omgezet in een gelijkspanning (AC-DC-omvorming).

We hebben hier dus te maken met *twee* omvormers (DC ➤ AC en AC ➤ DC). Het is mogelijk deze twee bewerkingen met *één en dezelfde* schakelaar uit te voeren. Een dergelijke combinatie van twee omvormers, die met één schakelaar worden bediend, noemt men een *synchrone* omvormer (synchroon = gelijktijdig). Hieronder is een chopperversterker met een synchrone omvormer afgebeeld.





De schakelaar S staat achtereenvolgens even lang in stand 1 als in stand 2. R_1 en R_2 dienen om kortsluiting te voorkomen van resp. U_{AB} en u_{db}.

De gelijkspanning U_{AB} wordt op de bekende wijze m.b.v. S omgevormd tot een pulserende gelijkspanning u_{CB}. De wisselspanningscomponent van u_{CB} wordt versterkt (u_{db}).
Over de uitgang staat alleen spanning wanneer S in stand 1 staat. u_{EB} is dus een pulserende *gelijkspanning*. Deze kan eventueel nog worden afgevlakt tot een zuivere gelijkspanning.

AM- EN FM- SIGNALEN

Voor het draadloos overbrengen van geluid (radio) of beeld (televisie) maakt men gebruik van gemoduleerde signalen. In A57 is hierover reeds gesproken.

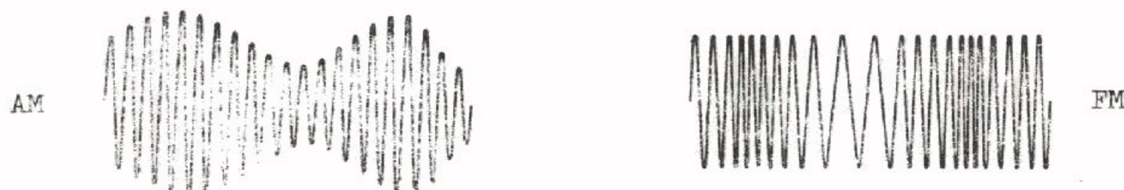
In de radio- en TV- studio's wordt geluid- resp. beeldinformatie omgezet in evenredige LF-wisselspanningen (hoe dit gebeurt krijgen we nog bij het hoofdstuk "opnemen").

Men zou erover kunnen denken deze LF-signalen direct aan de zendantenne toe te voeren. Dit brengt echter twee ernstige bezwaren met zich mee.

- Het is technisch niet goed mogelijk dergelijke zenders te bouwen. Zij zouden bijv. antennes moeten hebben met buitengewoon grote afmetingen.
- We hebben niet met één zender te maken maar met een heleboel stations. Zouden al deze zenders LF-beeld- en geluidssignalen gaan uitzenden, dan zouden de door die zenders in de ontvangantenne geïnduceerde spanningen niet meer uit elkaar te halen zijn.

De oplossing van deze moeilijkheden is, de LF-informatie *mee te geven* aan een spanning met een hoge frequentie, liefst boven 100 kHz. Dit HF-signaal noemt men de *draaggolf*.
Elke zender heeft een draaggolf met een *eigen* frequentie en daardoor is het mogelijk in de ontvanger de beeld- en geluidssignalen van de ene zender af te zonderen van alle andere tegelijkertijd ontvangen signalen. Bovendien is het technisch goed mogelijk draaggolven, dankzij hun hoge frequentie, als electro-magnetische golven over te zenden.

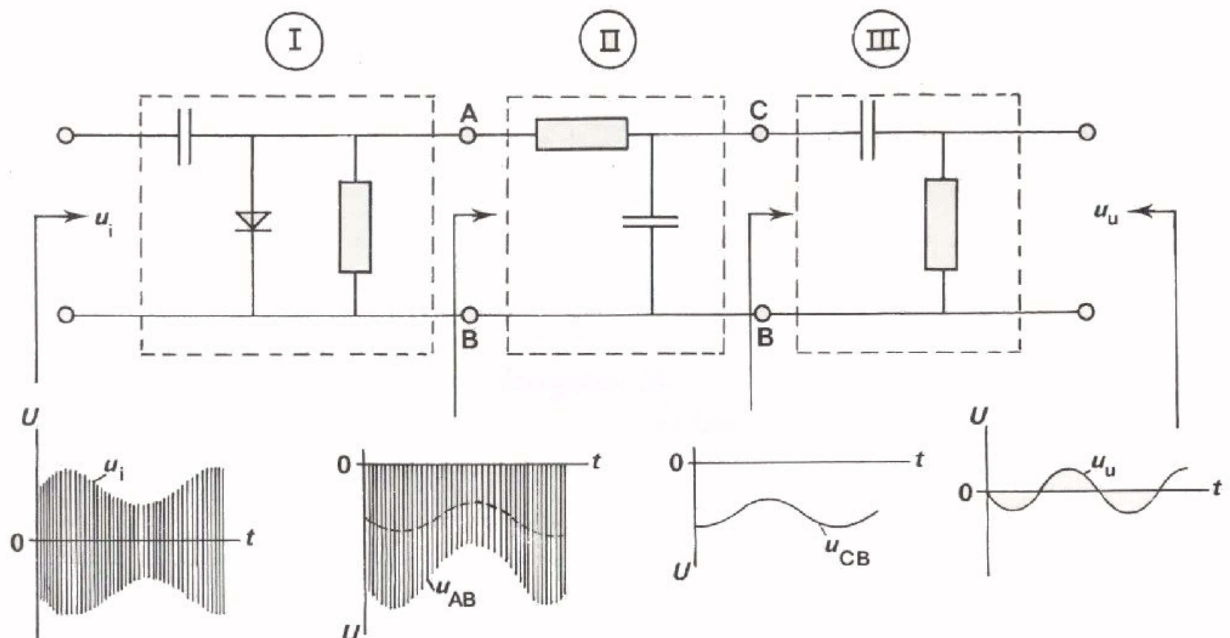
Het meegeven van LF-informatie aan een HF-draaggolf noemt men *moduleren*. Dit gebeurt dus in de zender. Men onderscheidt *amplitude*modulatie en *frequentie*modulatie. Bij amplitudemodulatie (AM) verandert de *amplitude* van de HF-trilling in het ritme van de LF-informatie. Bij frequentiemodulatie (FM) verandert de *frequentie* van HF-trilling in het ritme van de LF-informatie.



Aan de zijde van de ontvanger moet de LF-informatie weer "uit" de HF-trilling gehaald worden. Dit noemt men *dé-moduleren of detecteren*.
Een schakeling die de LF-informatie uit een AM-signaal haalt noemen we een *AM-detector* (detector-ontdekker). Een demodulator voor een FM-signaal noemen we een *FM-detector*.
Op de volgende pagina's worden deze detectors behandeld.

DE WERKING VAN EEN AM-DETECTOR

Er zijn verschillende soorten AM-detectors gangbaar. Een veel gebruikte schakeling is hieronder afgebeeld. In deze AM-detector vinden achtereenvolgens een aantal "omvormingen" plaats.



De AM-detector bestaat uit de delen I, II en III.

Het AM-signaal wordt aan deel I toegevoerd. Dit is een clampschakeling. Zoals we in de vorige les hebben gezien wordt in deze schakeling het ingangssignaal met de toppen tegen het nulniveau "gedrukt". Het resultaat hiervan is de spanning u_{AB}.

Dit signaal gaat naar een laagdoorlatend filter (deel II). Dit filter sluit de HF-wisselspanning kort maar laat de gelijkspanning die in LF-ritme verandert door. Het resultaat is u_{CB}.

Deel III blokkeert de gelijkspanningscomponent van u_{CB}. De LF-wisselspanning waarmee het AM-signaal was gemoduleerd blijft over.

OEFENING

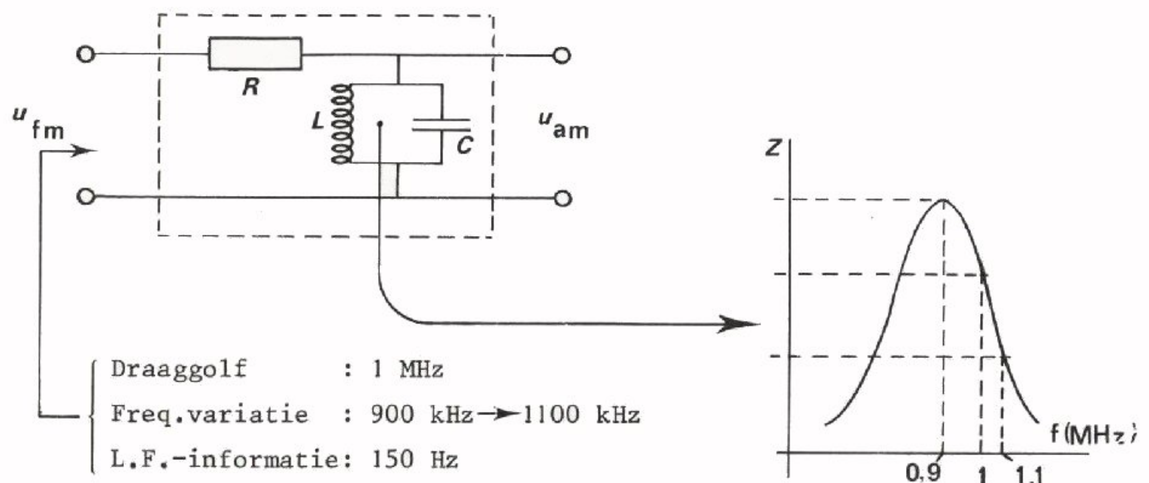
Schets hiernaast het verloop van u_{AB}, voor het geval dat in bovenstaande schakeling de diode wordt omgekeerd.



DE WERKING VAN EEN FM-DETECTOR

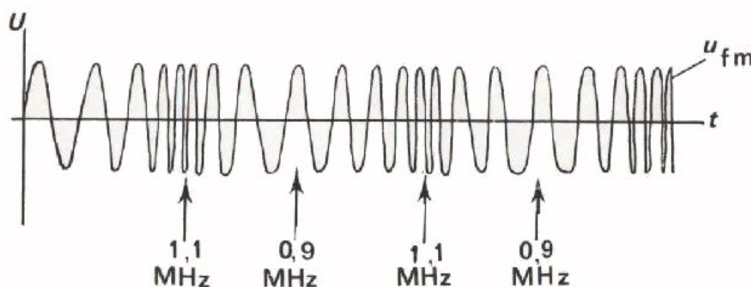
Bij de meeste FM-detectoren vindt eerst een omvorming plaats van het FM-signaal in een AM-signaal; dit AM-signaal wordt daarna op de reeds beschreven wijze "omgevormd", totdat de LF-modulatie overblijft.

Het omzetten van een FM-signaal in een AM-signaal kan m.b.v. de volgende schakeling gebeuren.



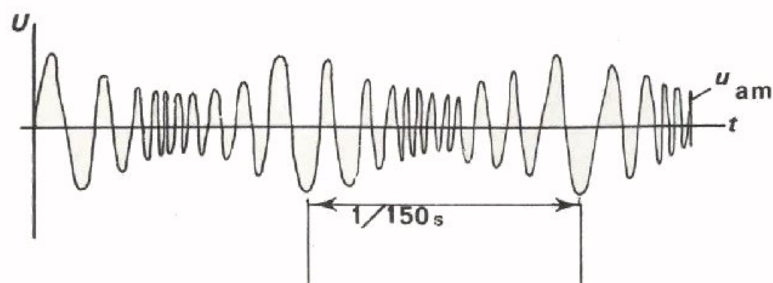
De FM-AM-omzetter bestaat uit een parallelresonantiekring. We nemen gemakshalve aan dat deze is afgestemd op bijv. 900 kHz. Bij deze frequentie is de kringimpedantie maximaal; bij hogere of lagere frequenties is de kringimpedantie veel lager.

We nemen aan dat het aan de ingang toegevoerde FM-signaal 150 maal per sekonde in frequentie varieert van 0,9 MHz naar 1,1 MHz en terug.



Op de momenten dat de frequentie van het FM-signaal 0,9 MHz is, ontstaat op de uitgang van de schakeling een HF-signaal met *grote* amplitude. Op de momenten dat de frequentie van het FM-signaal 1,1 MHz is, is de amplitude van het uitgangssignaal *klein*.

De amplitude van het uitgangssignaal verandert dus in hetzelfde ritme als de frequentie van het ingangssignaal: 150 maal per seconde.



Het AM-signaal aan de uitgang van de schakeling bevat dus hetzelfde LF-informatie (150 Hz) als het FM-signaal. Om het LF-signaal te verkrijgen moet er dus achter de FM-AM-omzetter nog een AM-detector geschakeld worden.

SAMENVATTING

- De volgende omvormers zijn behandeld:

  - frequentievermenigvuldigers
  - frequentiedelers
  - DC-AC-omvormers
  - AM- en FM- detectors

- *Frequentievermenigvuldigers* zijn schakelingen die een uitgangsspanning leveren waarvan de frequentie een veelvoud is van de frequentie van de ingangsspanning.

  Een frequentievermenigvuldiger bevat een selectief netwerk, bijv. een resonantiekring. Het ingangssignaal moet *niet*-sinusvormig zijn.

  Niet sinusvormige signalen zijn opgebouwd uit een sinusvormige grondgolf en een aantal harmonischen. Een zuivere blokspanning bevat naast de grondgolf uitsluitend *oneven* harmonischen. Een zuivere zaagtandspanning bevat even én oneven harmonischen. Frequentievermenigvuldigers gebruikt men o.a. om niet-sinusvormige signalen te ontleden in sinusvormige spanningen.

- Bij *frequentiedelers* is de frequentie van de uitgangsspanning een geheel aantal malen lager dan de frequentie van de ingangsspanning.

  Frequentiedelers zijn vaak samengesteld uit JK-flip-flops die als tweedeler zijn geschakeld. Door terugkoppeling kan men elk gewenst geheel deeltal verkrijgen.

  Met frequentiedelers kan men van een signaal met een nauwkeurig bekende frequentie andere signalen afleiden waarvan de frequentie dan ook nauwkeurig vastligt. Zo kan men bijv. de seconde-impulsen voor een digitale klok afleiden van de netfrequentie, door middel van een 50-deler.

- DC-AC *omvormers* zetten gelijkspanning om in wisselspanning.

  In dit soort schakelingen wordt de ingangsspanning m.b.v. een mechanische of elektronische schakelaar omgevormd tot een pulserende gelijkspanning. De wisselspanningscomponent wordt doorgegeven naar de uitgang.

  DC-AC-omvormers worden bijvoorbeeld gebruikt in chopperversterkers.

- Een AM-detector is een schakeling die de LF-informatie uit een AM-signaal haalt. Een FM-detector selecteert LF-informatie uit een FM-signaal.

  Een AM-detector bestaat uit een clampschakeling met een bepaalde RC-tijd. Bij de meeste FM-detectors wordt het FM-ingangssignaal omgezet in een AM-signaal. M.b.v. een AM-detector verkrijgt men dan de LF-informatie.

  AM- en FM-detectors gebruikt men in radio- en tv ontvangers.

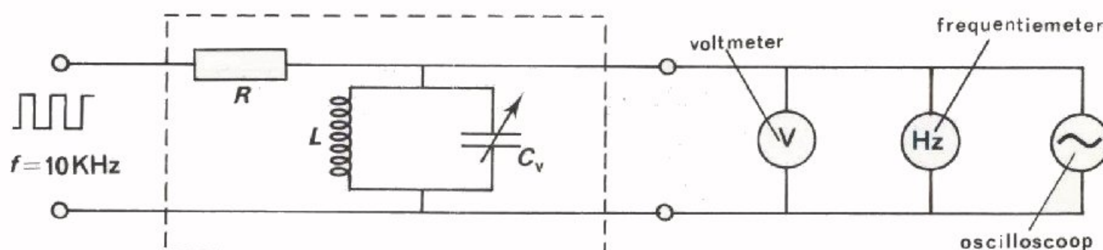
NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN

1. Aan een frequentievermenigvuldiger wordt een blokspanning met een frequentie van 10 kHz toegevoerd. De blokspanning bevat de grondgolf f_1 en een groot aantal oneven harmonischen: $3f_1$, $5f_1$, $7f_1$, enz. De frequentievermenigvuldiger bevat een "ideale" parallelkring waarvan de resonantiefrequentie m.b.v. een variabele condensator C_v regelbaar is tussen 20 kHz en 60 kHz. Op de uitgang van de schakeling zijn aangesloten: een wisselspanningsmeter, een frequentiemeter en een oscilloscoop.

   Wat ziet U op de meetinstrumenten als C_v langzaam van de minimale naar de maximale waarde geregeld wordt ?

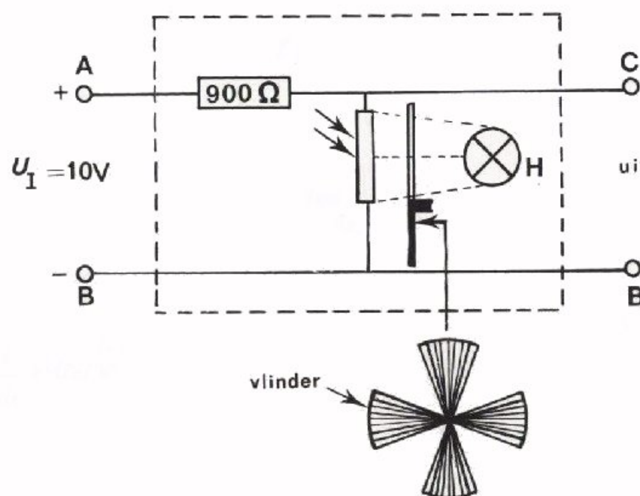


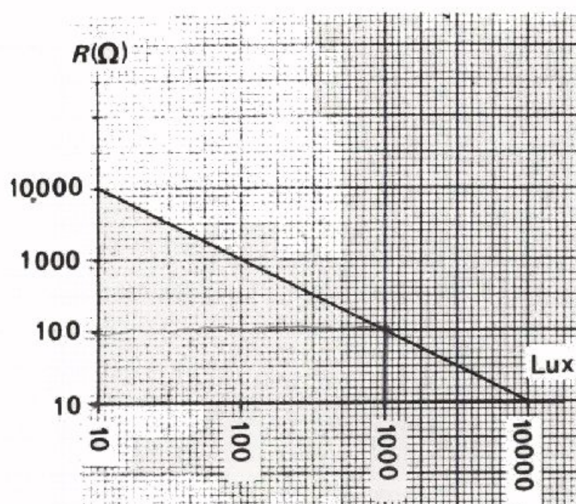
- De V-meter: slaat helemaal niet uit O
  - wijst steeds hetzelfde aan O
  - slaat tweemaal kortstondig uit O
  - slaat vijfmaal kortstondig uit O

- De frequentiemeter wijst aan:
  - niets O
  - eenmaal een frequentie van 10 kHz O
  - achtereenvolgens twee frequenties nl. 30 kHz en 50 kHz O
  - alle frequenties tussen 20 kHz en 60 kHz O

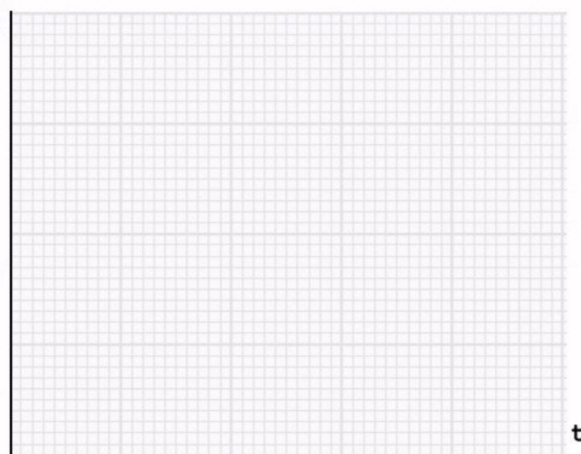
- De oscilloscoop geeft weer:
  - niets O
  - een blokspanning van 10 kHz O
  - een sinusvorm die in frequentie varieert van 20 kHz naar 60 kHz O
  - achtereenvolgens een sinusvorm met een frequentie van 30 kHz en een met een frequentie van 50 kHz O

2. Hieronder is een DC-AC-omvormer afgebeeld. De omvormer bevat een LDR die periodiek wordt belicht via de vier openingen van een ronddraaiende "vlinder". De vlinder draait met een snelheid van 15 omwentelingen per minuut. De eigenschappen van de LDR zijn weergegeven in een grafiek. Als de LDR wordt belicht is de verlichtingssterkte 1000 lux. In onbelichte toestand is de verlichtingssterkte 10 Lux. Op de ingang van de omvormer wordt een gelijkspanning van 10 V aangesloten.





- Hoe groot is de uitgangsspanning u_{CB} gedurende de tijd dat de LDR wordt belicht ? u_{CB} = [V]
- Hoe groot is u_{CB} ongeveer gedurende de tijd dat de LDR niet wordt belicht ? $u_{CB} \simeq$ [V]
- Teken hiernaast het verloop van u_{CB}.



- Hoe groot is de top-top-waarde en de frequentie van de wisselspanningscomponent van u_{CB}?

$u_{(cb)t} \simeq$ [V] f = [Hz]

C 23

HERHALING I
DE THEORIE VAN C 15 T/M C 22

INLEIDING

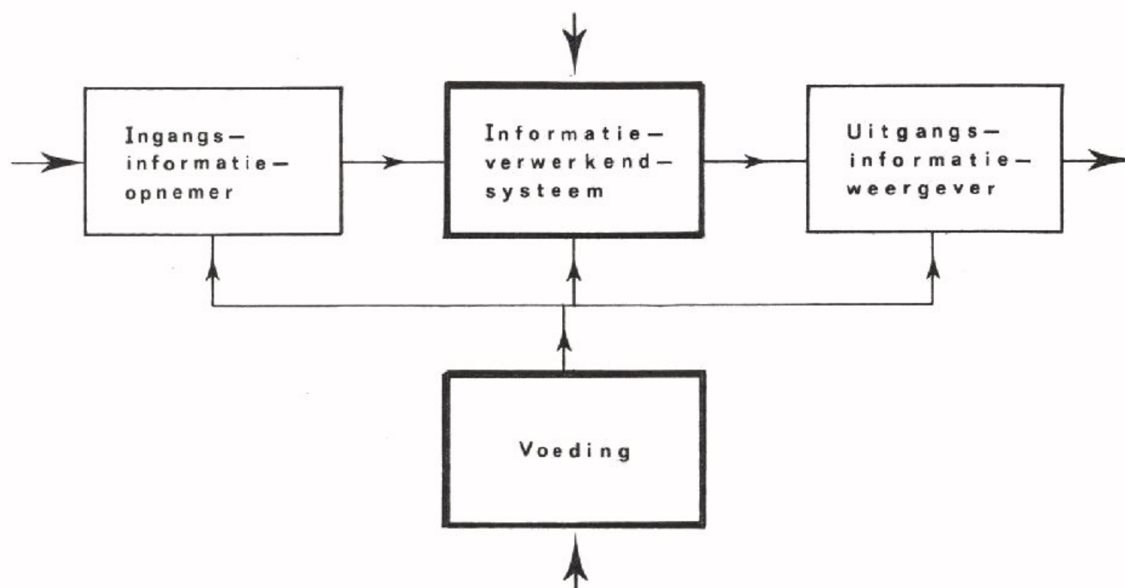
In analoge systemen kunnen we een tiental groepen van schakelingen onderscheiden die per groep *eenzelfde functie* vervullen.

De gangbare functies zijn:	De groepen van schakelingen zijn:
1. versterken	1. versterkerschakelingen
2. verzwakken	2. verzwakkerschakelingen
3. oscilleren	3. oscillatorschakelingen
4. voeden	4. voedingsschakelingen
5. omvormen	5. omvormschakelingen
6. mengen	6. mengschakelingen
7. bewaren of opslaan	7. geheugenschakelingen
8. transporteren	8. transportschakelingen
9. opnemen	9. opneemschakelingen
10. weergeven	10. weergeefschakelingen .

In het eerste gedeelte van de cursus zijn schakelingen met de functies versterken en verzwakken aan de orde geweest. Over deze schakelingen is al een test afgenomen. In de lessen die we in de afgelopen weken hebben bestudeerd zijn schakelingen met de functies oscilleren, voeden en omvormen behandeld. Over deze onderwerpen zal in de volgende les een test worden gemaakt.

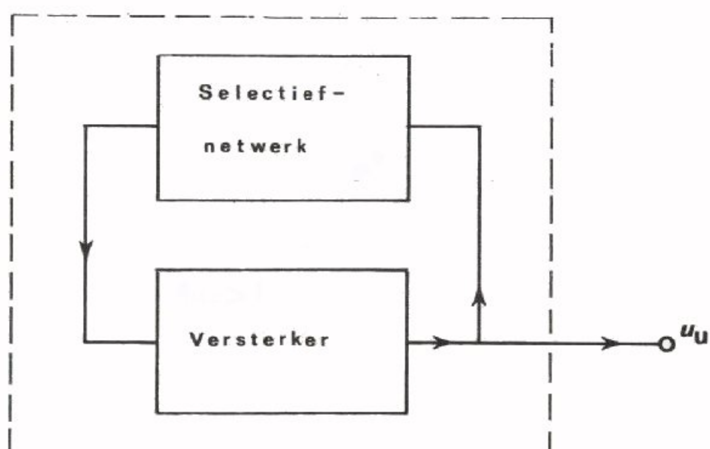
Ter voorbereiding van die test gaan we in deze les de leerstof nog eens kort samenvatten. Er komt geen nieuwe leerstof aan de orde. De les bevat wel een aantal vraagstukken. Werk deze serieus door. Kunt U bepaalde vraagstukken niet of pas na veel moeite oplossen, sla er dan de desbetreffende les nog eens op na. Komt U er nog niet uit leg dan de problemen voor aan Uw leraar.

De schakelingen met de functies oscilleren en omvormen horen in een analoog systeem thuis bij het blok *informatie-verwerking*.
De voedingsschakelingen leveren de voedingsspanningen in het systeem.



LC-OSCILLATORS (zie C15)

- Een oscillator is een elektronische schakeling waarmee wisselspanning wordt opgewekt.
- Een oscillator is in principe een versterker waarvan een deel van de uitgangsspanning op een bepaalde manier wordt teruggevoerd naar de ingang.



- De oscilleervoorwaarden zijn:
  1. er moet een beginsignaal zijn: ruis.
  2. er moet een frequentie zijn waarbij de fasehoek tussen de teruggevoerde spanning en de ingangsspanning van de versterker 0° is.
  3. Bij die frequentie moet bij het starten van de oscillator, de versterking groter zijn dan 1.
  4. Tijdens het oscilleren moet de rondgaande versterking worden begrensd tot 1.

- Als het selectieve netwerk uit een *LC*-kring bestaat, noemt men de oscillator een *LC*-oscillator. De frequentie van de opgewerkte wisselspanning wordt bepaald door de resonantie-frequentie van de *LC*-kring.

- Ook schakelingen met versterkende elementen die een andere functie hebben, kunnen oscilleren: het zogenaamde parasitair oscilleren.

- De uitgangsspanning van een sinus-oscillator wijkt altijd min of meer af van de zuivere sinusvorm.

  De vervormingsfactor $\delta = \frac{\text{topwaarde harmonische}}{\text{topwaarde grondgolf}} \times 100\%$

- De frequentie-stabiliteit van een oscillator kan nadelig worden beïnvloed door:
  - variaties van de voedingsspanning
  - veranderingen van de omgevingstemperatuur
  - belastingsvariaties

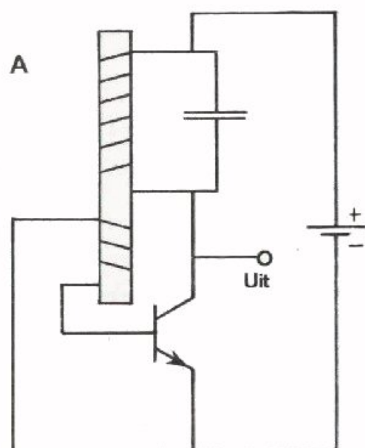
- Oscillators waarvan een grote frequentie-nauwkeurigheid wordt geëist, zijn meestal uitgerust met een kristal. Het kristal fungeert dan als zeer selectieve kring.

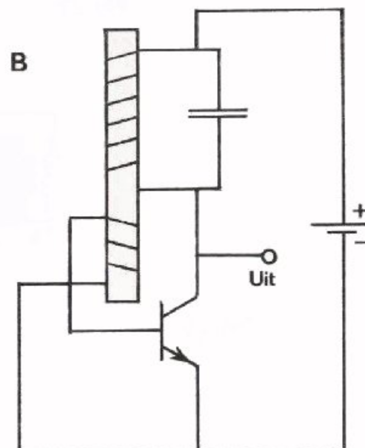
  Een kristal-oscillator oscilleert in de eigen-frequentie van het kristal.

TEST UZELF

1. ● Welk van deze twee schakelingen kan *niet* oscilleren ? **A / B**

(De weerstanden voor de transistor-instelling zijn weggelaten)

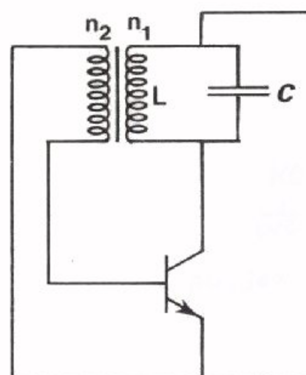




● Geef een korte toelichting op Uw antwoord.

2. - Voor de frequentie die overeenkomt met de resonantiefrequentie van de *LC*-kring versterkt de transistor 30 x.

L = 30 mH



● Hoe groot moet de condensator C zijn om een oscillatorfrequentie van ca. 50 kHz te verkrijgen ?

$C \simeq$ [   ] nF

● Hoe groot moet de transformatieverhouding n_1:n_2 zijn opdat de schakeling kan oscilleren ?

$\frac{n_1}{n_2}$ = [   ]

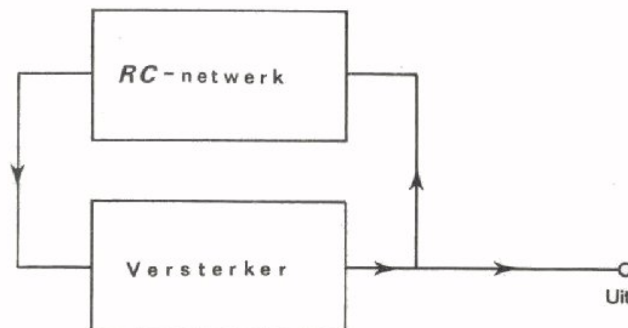
3. Een oscillator levert een wisselspanning met een frequentie van 1 kHz en een amplitude van 10 V. Het signaal wijkt enigszins af van de sinusvorm t.g.v. een 3e harmonische. De vervormingsfactor is 2 $^{o}/_{oo}$

Hoe hoog is de *frequentie* van de harmonische f = [   ] kHz

De *amplitude* van de harmonische is U_t = [   ] mV

RC- OSCILLATORS (zie C16)

- Een *RC*-oscillator bestaat uit een versterker waarvan het uitgangssignaal via een *RC*-netwerk wordt teruggevoerd naar de ingang.



- Slechts voor één frequentie is er geen fasedraaiing tussen het teruggevoerde signaal en het voorafgaande ingangssignaal van de versterker. Bij deze frequentie zal de schakeling gaan oscilleren, mits de rondgaande versterking hierbij gelijk is aan één. De versterker moet dus zóveel versterken dat de verzwakking van het *RC*-netwerk wordt gecompenseerd.

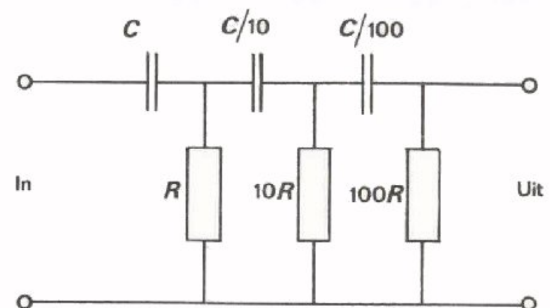
- Er bestaan *RC*-oscillators waarvan de versterker en het *RC*-netwerk elk 180^0 fasedraaiing geven. Dergelijke oscillators kunnen zijn opgebouwd uit een ééntraps-versterker en een *RC*-netwerk met tenminste 3 *RC*-filters.

- Men maakt vaak gebruik van 3 achter elkaar geschakelde *RC*-filters die zodanig zijn samengesteld dat ze elkaar weinig of niet beïnvloeden, De frequentie waarbij dit netwerk 180° fasedraaiing geeft in ongeveer:

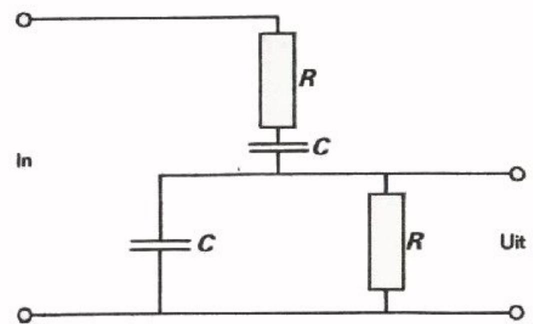
$$f \simeq \frac{1}{1,7.2\pi.RC}$$

De verzwakking bij deze frequentie is bij benadering:

$$V_u \simeq 8$$



- Er zijn ook *RC*-oscillators waarvan de fasedraaiing van de versterker 360° is. Het *RC*-netwerk geeft dan bij de oscilleerfrequentie geen fasedraaiing. Dergelijke oscillators zijn dan meestal opgebouwd uit een meertraps-versterker. Het *RC*-netwerk is dan vaak een Wienfilter.



- De frequentie waarbij een Wienfilter geen fasedraaiing veroorzaakt is:

  $$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

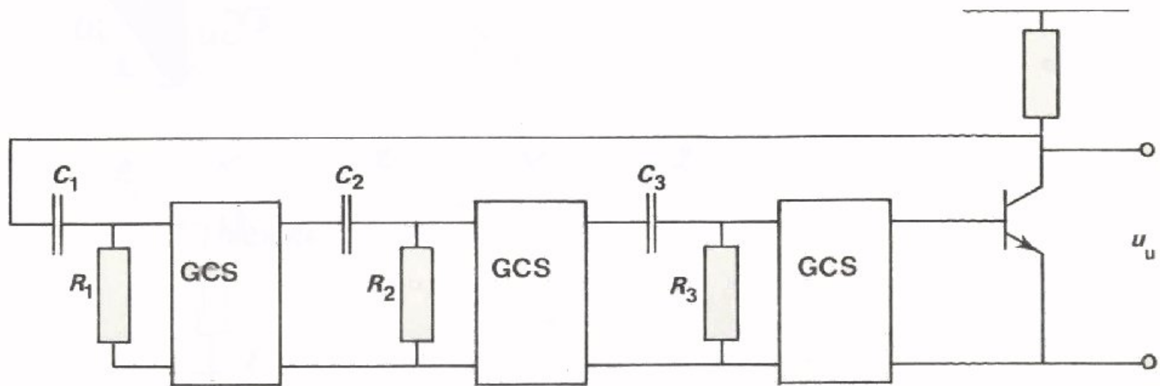
  De verzwakking bij deze frequentie is:

  $V_u = 3$

- Met *RC*-oscillators worden meestal *laag*-frequentie sinusvormige spanningen opgewekt (f < 100 kHz).

TEST UZELF

1.



Dit is het schema van een werkende *RC*-oscillator.

- $C_1 = C_2 = C_3 = 10$nF en $R_1 = R_2 = R_3 = 1$ kΩ.
- De drie emitter-volgers zorgen ervoor dat de *RC*-combinaties elkaar niet beïnvloeden. Elke emitter-volger versterkt éénmaal.

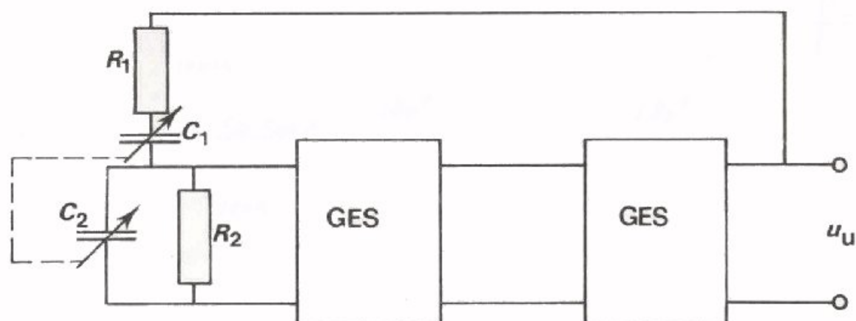
● Hoe groot is de faseverschuiving van elke *RC*-combinatie? φ = [ ] °

● Hoe groot is de verzwakking van elke *RC*-combinatie? V_u = [ ]

● Hoeveel versterkt de transistor tenminste ? A_u = [ ]

● Hoe hoog is de oscillatorfrequentie ? $f_{osc} \simeq$ [ ] kHz

2.



Van deze *RC*-oscillator is bekend:

- $R_1 = R_2 = 100$ kΩ en $C_1 = C_2 = 50$ pF - 500 pF regelbaar.

● Hoe hoog is de hoogste oscillatorfrequentie ? f_{max} = [ ] kHz

● Hoe hoog is de laagste oscillatorfrequentie ? f_{min} = [ ] kHz

● Waarom worden hier *twee* versterkertrappen toegepast ?

● Hoeveel moeten de twee trappen samen minstens versterken ? A_u = [ ]

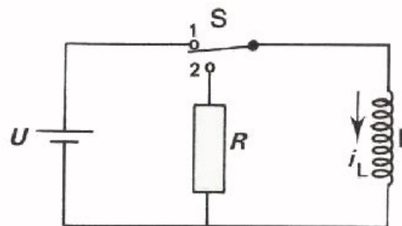
ZAAGTANDOSCILLATORS (zie C17)

- In de analoge techniek wordt veelvuldig gebruik gemaakt van zowel zaagtand*spanningen* als van zaagtand*stromen*.

- Als men over een spoel een *constante* spanning aansluit, verloopt de *stroom* door die spoel lineair met de tijd.

  Principe-schema van een zaagtand*stroom*-oscillator.

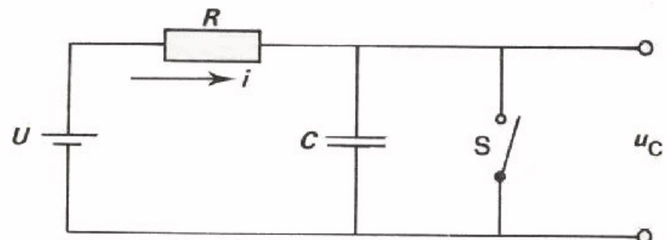
  S in stand 1: slagtijd
  S in stand 2: terugslagtijd



- Als men een condensator laadt met een *constante* stroom, verloopt de *spanning* over die condensator lineair met de tijd.

  Principe-schema van een zaagtand*spannings*-oscillator.

  S open : slagtijd
  S gesloten: terugslagtijd



  In praktische schakelingen gebruikt men voor S een *elektronische* schakelaar; bijvoorbeeld een uni-junction-transistor.

- Men kan een oscillatorsignaal "in de pas laten lopen" met een ander signaal, d.m.v. de *trigger*-methode of d.m.v. de *synchronisatie*-methode.

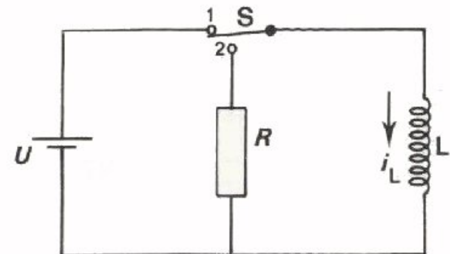
- Bij het triggeren gebruikt men het triggersignaal om de oscillator te *starten*. Na iedere periode van het oscillatorsignaal moet er opnieuw worden gestart. Bij oscilloscopen wordt de triggermethode toegepast om de ingebouwde zaagtandspannings-oscillator "in de pas te laten lopen" met het Y-signaal. Dit is nodig om stilstaande afbeeldingen te krijgen.

- Bij het synchroniseren gebruikt men het synchronisatiesignaal om de "in zijn eigen tempo oscillerende" schakeling zodanig te *beïnvloeden* dat een gelijkloop tot stand komt. Een oscillator met een synchronisatie-ingang oscilleert dus ook zonder synchronisatie-impulsen.

- Een oscillator met een synchronisatie-ingang kan alleen m.b.v. *periodieke* impulsen worden gesynchroniseerd. Een oscillator met een trigger-ingang kan m.b.v. zowel *periodieke* als *niet-periodieke* impulsen worden getriggerd.

TEST UZELF

1. - In deze zaagtand*stroom*-oscillator is:
   L = 10 H en U = 5 V
   - De schakelaar S staat periodiek 9 s in stand 1 en daarna 1 s in stand 2.



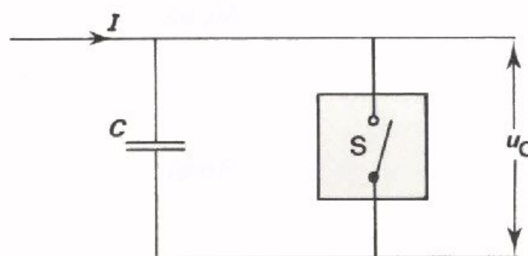
- Bepaal de top-top-waarde van de zaagtandstroom.

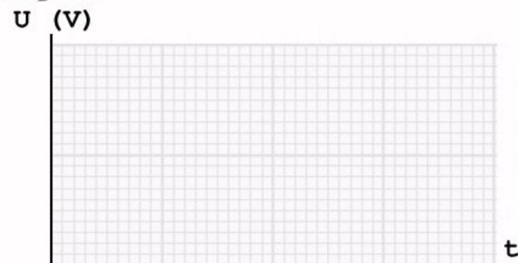
I_{TT} = [A]

- Hoe hoog is de frequentie van de zaagtandstroom ?

f = [Hz]

2. - In onderstaande zaagtand*spannings*-oscillator is:
   C = 10 nF en I = 50 μA
   - S is een elektronisch gestuurde schakelaar die bij een condensatorspanning van 10 V automatisch wordt gesloten en tijdens het ontladen van de condensator bij 5 V weer open gaat.





- Teken hierboven het verloop van de condensatorspanning.
- Hoe groot is de top-top-waarde van de zaagtandspanning ?

U_{TT} = [V]

- Hoe hoog is de frequentie ?

f = [Hz]

3. De oscilleerfrequentie van een oscillator is in *niet*-gesynchroniseerde toestand 100 kHz. In gesynchroniseerde toestand is het houdgebied van de oscillator ± 10% van f_{osc}.

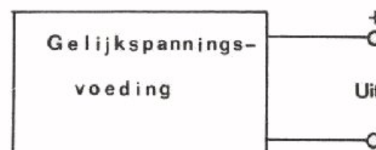
- Hoe groot is de oscilleerfrequentie bij een synchronisatiesignaal van resp. 105 kHz en 85 kHz.

f_{osc}(bij 105 kHz) = [kHz] , f_{osc} (bij 85 kHz) = [kHz]

ONGESTABILISEERDE VOEDINGSSPANNINGEN (zie C18)

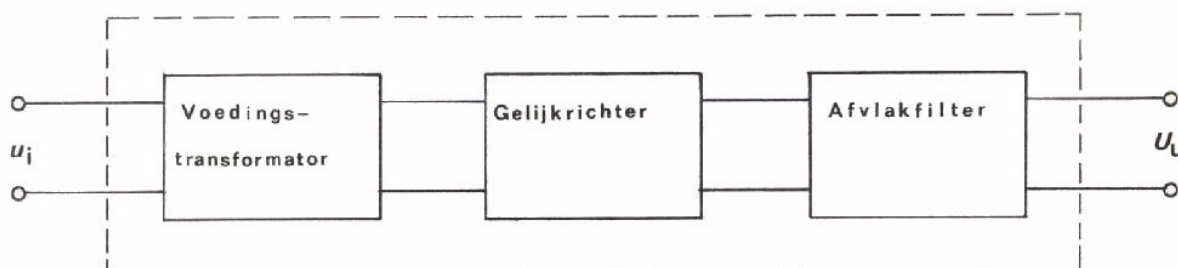
- In de elektronica verstaan we onder "voeden", het aan elektronische schakelingen toevoeren van elektrische energie om deze goed te laten functioneren.

- Gelet op de functie kunnen we een gelijkspanningsvoeding schematisch voorstellen door een blok met een uitgang. Aan deze uitgang is een gelijkspanning beschikbaar.



- De belangrijkste uitwendige eigenschappen van een gelijkspanningsvoeding zijn:
  - De waarde, de zuiverheid en de stabiliteit van de uitgangsspanning.
  - De stroom die maximaal afgenomen mag worden.
  - De uitgangsweerstand R_u.
  - Het rendement.

- Opbouw van een ongestabiliseerde netspanningsvoeding.



- Een voedingstransformator gebruikt men om:
  - De gewenste wisselspanning te verkrijgen
  - De uitgang van de voedingsschakeling "galvanisch te scheiden" van het lichtnet.

- Soorten gelijkrichtschakelingen:
  - Enkelzijdige gelijkrichter
  - Dubbelzijdige gelijkrichter
  - Graetzschakeling (óók dubbelzijdige gelijkrichting).

- De ongewenste rimpelspanning die na gelijkrichting ontstaat, is:

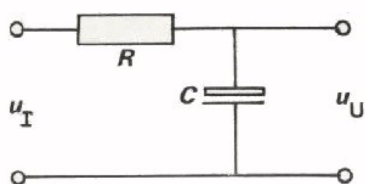
$$U_{tt} \simeq \frac{I_u \cdot T}{C_b}$$

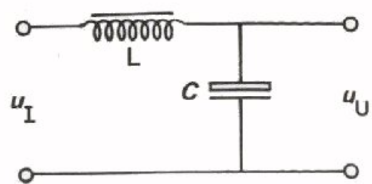
I_u = de uitgangsstroom

T = de periodetijd van de rimpelspanning

C_b = de buffercondensator

- Men onderscheidt *RC*- en *LC*-afvlakfilters.





$$F = \frac{u_I}{u_U} = 2\pi fRC$$

$$F = \frac{u_I}{u_U} = 4\pi^2 f^2 LC.$$

TEST UZELF

1. Tijdens het starten aan een auto daalt de accuspanning 2 V.
De startmotor neemt een stroom van 50 A.

● Hoe groot is de R_u van deze accu ? R_u = [Ω]

2. Een lampje van 200 mA brandt 6 uur lang op een platte batterij van 4½ V.
Dan is de batterij "leeg".

● Hoe groot is de capaciteit van de batterij ? C_{ap} = [Ah]

● De door de batterij geleverde energie is W = [Wh]

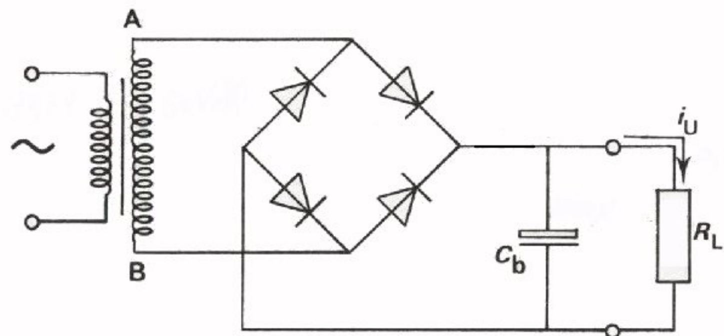
3. Deze schakeling is een **enkelzijdige/dubbelzijdige** gelijkrichter.

Van deze schakeling is gegeven:

$U_{ab(eff)}$ = 50 V

C_b = 1 µF

$I_{U(GEM)}$ = 0,5 A

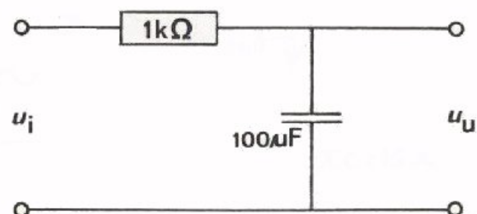


● Hoe groot is bij benadering de rimpelspanning en de gelijkspanning over R_L?

U_{tt} ≃ [V] U ≃ [V]

● Hoe hoog is de rimpelfrequentie ? f_r = [Hz]

4. Op de ingang van dit afvlakfilter staat een rimpelspanning U_{it} = 3 V met een frequentie van 100 Hz. We nemen daarbij aan dat de rimpelspanning sinusvormig is.



● Hoe groot is de rimpelspanning aan de uitgang ?

U_{ut} (rimpel) ≃ [mV]

● De afvlakfactor van dit filter is, F = [ ]

GESTABILISEERDE VOEDINGSSPANNINGEN (zie C19)

- Kenmerken van gestabiliseerde voedingsbronnen zijn:
  - Een stabiele uitgangsspanning. De uitgangsspanning is weinig afhankelijk van netspanningsvariaties en uitgangsstroom-veranderingen.
  - Weinig rimpelspanning op de uitgang. De uitgangsspanning is nagenoeg een zuivere gelijkspanning.

- Belangrijke gegevens van gestabiliseerde voedingen zijn:
  - De uitgangsweerstand R_u:

$$R_u = \frac{\text{uitgangsspanningsvariatie (V)}}{\text{uitgangsstroomvariatie (A)}}$$

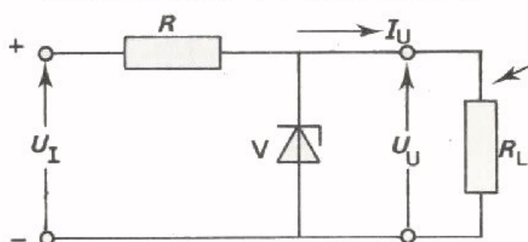
  - De stabilisatiefactor S of regelfactor:

$$S = \frac{\text{netspanningsvariatie (\%)}}{\text{uitgangsspanningsvariatie (\%)}}$$

  De kwaliteit van een gestabiliseerde voeding is beter naarmate R_u kleiner is en S groter.

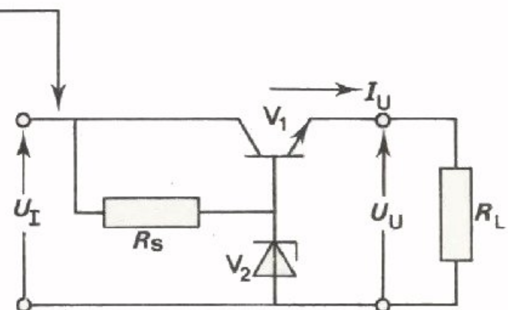
- Schakeltechnisch is een gestabiliseerde voeding opgebouwd uit een ongestabiliseerde voeding gevolgd door een stabilisatieschakeling.

- Stabilisatieschakelingen kan men verdelen in :
  - Schakelingen met serieregeling
  - Schakelingen met parallelregeling



$U_U = U_V$

$I_{Umax} \simeq I_{Vmax}$



$U_U \simeq U_{V2}$

$I_{Umax} = I_{Cmax}$

- Schakelingen met serieregeling zijn in principe gevoelig voor overbelasting Daarom heeft dit soort schakelingen dikwijls een beveiliging tegen overbelasting.

- Gelet op de werking van gangbare beveiligingsschakelingen hebben we twee methoden genoemd:
  - Beveiliging door blokkering:
    De spanning valt weg bij overbelasting.
  - Beveiliging door stroombegrenzing:
    De spanning daalt bij overbelasting. De stroom kan daardoor niet boven de maximumwaarde komen.

TEST UZELF

1. Van een gestabiliseerde voeding is gegeven:
   - De uitgangsweerstand R_u = 0,2Ω
   - De stabilisatiefactor S = 200
   - Het rendement η = 60%

- Hoeveel verandert de uitgangsspanning als de belastingsstroom 50 mA kleiner wordt ?

  U_U [stijgt/daalt] [mV]

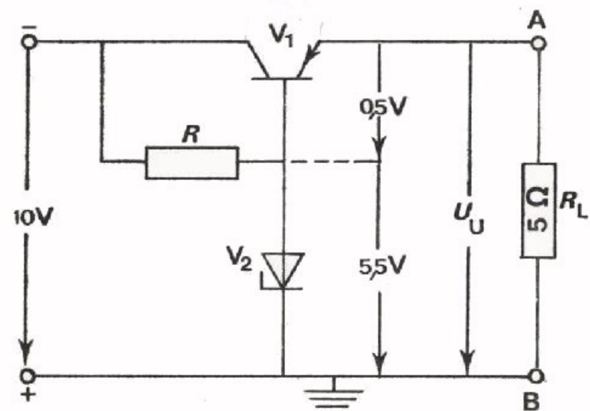
- Hoeveel verandert de uitgangsspanning als de netspanning 2% lager wordt ?

  U_U [stijgt/daalt] [%]

- Het voedingsapparaat kan maximaal 1,2 A leveren bij 20 V. Hoeveel vermogen wordt er dan aan het lichtnet onttrokken ?

  P_I = [W]

2. - In deze stabilisatieschakeling wordt [serie/parallel] regeling toegepast.



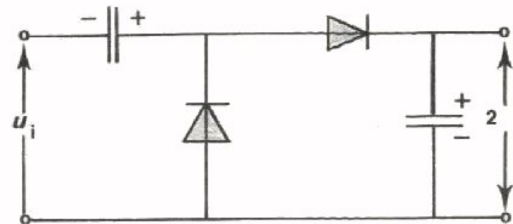
- Als regelorgaan fungeert [V1/R/V2]
- Welk onderdeel van de schakeling zal bij kortsluiting van R_L meestal defect raken ?

  [V1/R/V2]

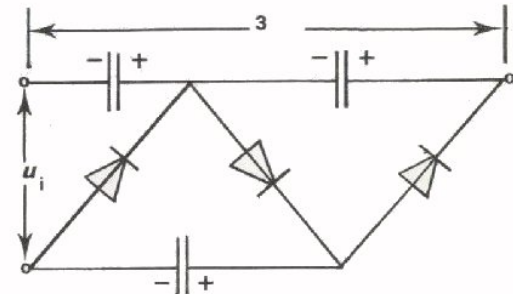
- De uitgangsspanning U_U = [V] waarbij punt A [positief/negatief] is t.o.v. punt B.
- De stroom door R_L is: I_U = [A]
- Het aan R_L afgegeven vermogen P_U = [W]
- De spanning over de transistor U_{CE} = [V]
- De collectorstroom van V_1 I_C = [A]
- Het vermogen dat in de transistor gedissipeerd wordt, is P_C = [W]

BIJZONDERE VOEDINGSSCHAKELINGEN (zie C20)

- Met een spanningsverdubbelaar kan men een gelijkspanning verkrijgen die gelijk is aan *tweemaal* de topwaarde van de ingangswisselspanning.



- Met behulp van nevenstaande schakeling verkrijgt men een gelijkspanning, die gelijk is aan *driemaal* de topwaarde van de ingangsspanning.



- Voedingsapparaten voor grote vermogens zijn uitgerust met een driefasengelijkrichter. Ook voor kleinere vermogens wordt deze methode soms toegepast omdat de rimpelspanning die na gelijkrichting ontstaat veel kleiner is dan bij ééntfase gelijkrichting. Afvlakking is meestal overbodig.

- Thyristorgelijkrichters gebruikt men om grote gelijkstroomvermogens te regelen zonder dat daarbij veel vermogensverlies optreedt.

- DC-DC-converters worden gebruikt als men een hogere gelijkspanning nodig heeft dan er beschikbaar is.

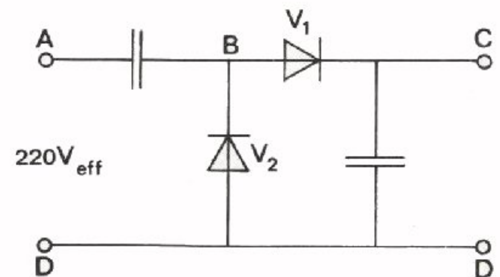
- Door de diode en de buffercondensator van een gelijkrichter vloeien betrekkelijk grote impulsvormige stromen, de zogenaamde rimpelstromen. Niet alle dioden en condensators zijn bestand tegem deze rimpelstromen. Bij het uitwisselen van gelijkrichtdioden en buffercondensators moet men vooral op de volgende eigenschappen letten: I_{VMAX} en U_{VMAX} (voor dioden) capaciteit, bedrijfsspanning en de maximaal toelaatbare rimpelstroom (voor condensators).

- Bij een wisselende belasting vloeien er wisselstromen door de voedingsleidingen. Hierdoor kunnen storingen optreden in het te voeden apparaat. Met behulp van ontkoppelfilters kan men de voedingsleidingen nagenoeg vrij maken van wisselstroom. Deze ontkoppelfilters moeten zo dicht mogelijk bij de te voeden schakelingen worden gemonteerd.

- Over lange voedingsleidingen kan een niet te verwaarlozen spanningsval optreden. Bij belastingsvariaties verandert de spanning over de belasting merkbaar. Dit euvel kan men verhelpen door een meetleiding vanaf de belasting terug te voeren naar de stabilisatieschakeling van de voeding.

TEST UZELF

1. In deze schakeling is:



- De spanning U_{AB} = [V]

  waarbij A **positief/negatief** is

  t.o.v. B.

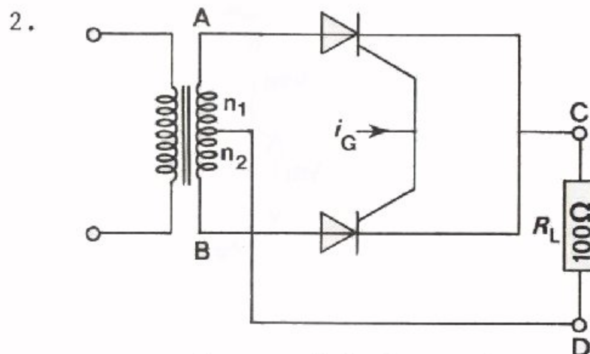
- De spanning U_{CD} = [V]

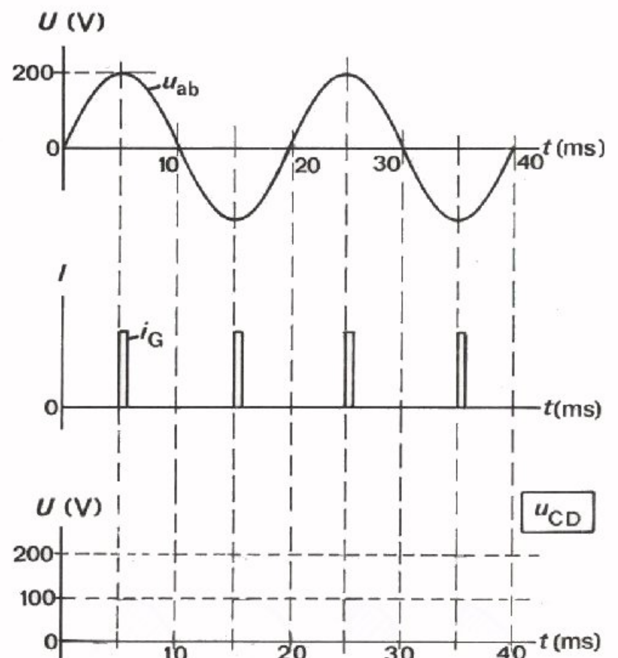
  waarbij C **positief/negatief** is

  t.o.v. D.

- De spanning over de dioden V_1 en V_2 kan op bepaalde momenten een maximum-waarde van [V] bereiken.

2.





Deze thyristorgelijkrichter is uitgerust met een nettransformator waarvan $n_1 = n_2$.

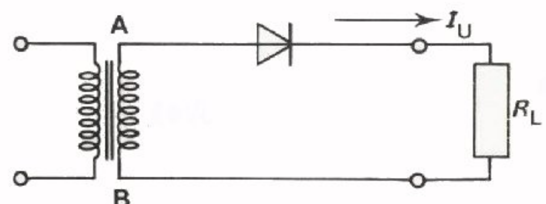
Tussen A en B staat een sinusvormige wisselspanning met een topwaarde van 200 V.

De thyristors worden getriggerd door een impulsvormig signaal i_G.

- Teken het verloop van de uitgangsspanning u_{CD}.

- De gemiddelde waarde van de stroom door R_L is: $I_{RL(GEM)} \simeq$ [mA]

3. In nevenstaande gelijkrichter is: U_{abt} = 20 V en R_L = 10 Ω

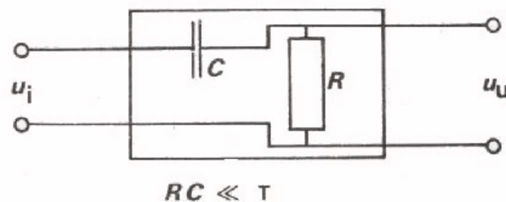


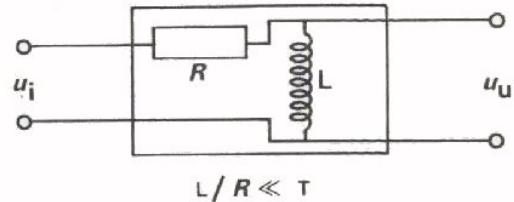
- Hoe groot is de gemiddelde stroom door R_L?

  $I_{U(GEM)} \simeq$ [mA]

OMVORMERS DIE DE VORM VAN EEN SIGNAAL VERANDEREN (zie C12)

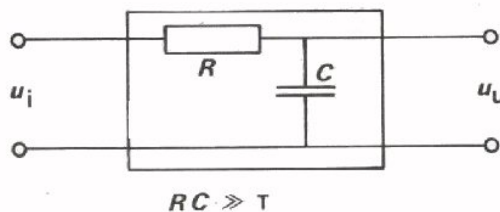
- *Differentiërende* omvormers zijn schakelingen die *snelle* ingangsspanningsveranderingen beter doorgeven dan langzame. Gelijkspanningen worden niet doorgegeven.

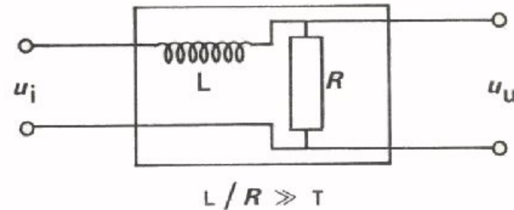




Differentiërende omvormers worden o.a. gebruikt om korte steile impulsen te verkrijgen.

- *Integrerende* omvormers zijn schakelingen die *langzame* ingangsspanningsveranderingen beter doorgeven dan snelle. De uitgangsspanning verloopt geleidelijk en nooit sprongsgewijze.





Integrerende omvormers worden o.a. gebruikt om driehoekvormige spanningen te verkrijgen.

- *Impulsvormers* zijn schakelingen, die signalen met een willekeurige vorm omzetten in een blokvormig signaal.

Voorbeelden waarbij men impulsvormers gebruikt :
- het omvormen van een sinusvormig signaal in een blokvormig signaal.
- het omvormen van wisselspanningen die onderling verschillen in frequentie, amplitude en vorm, in "eenheids"-blokspanningen waarin alleen de verschillen in *frequentie* overblijven.

- Met *clipschakelingen* kunnen de toppen van een signaal worden "afgeknipt" De uitgangsspanning vertoont dus een afplatting aan onder- en/of bovenkant.

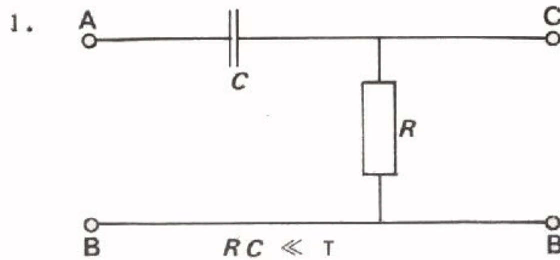
Clipschakelingen kunnen gebruikt worden voor:
- het wegknippen van ongewenste (stoor-) spanningen.
- het scheiden van positieve en negatieve impulsen van een gedifferentieerd signaal.

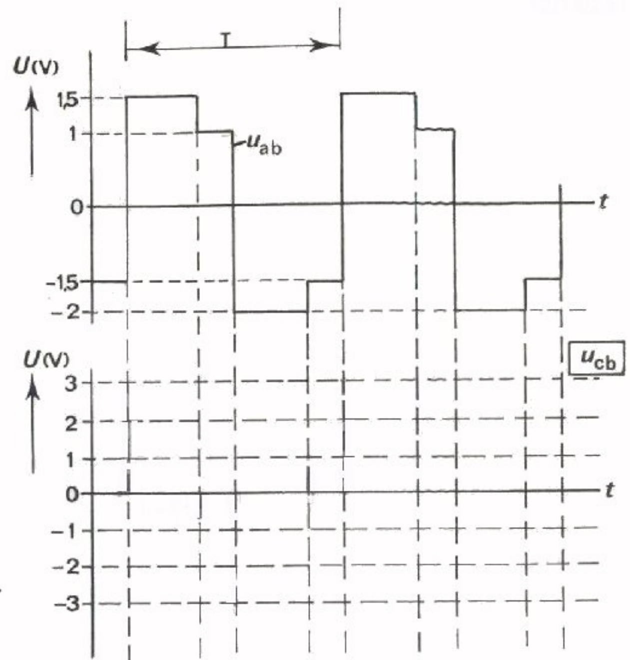
- Met *clampschakelingen* worden de toppen van een signaal tegen een bepaald gelijkspanningsniveau "gedrukt". Het verschil tussen in- en uitgangsspanning is dus het gelijkspanningsniveau.

  Clampschakelingen gebruikt men:
  - als aanpassing tussen twee schakelingen die op een verschillend gelijkspanningsniveau werken.
  - om een gelijkspanningsniveau dat op één of andere manier verloren is gegaan te herstellen.

TEST UZELF

1.



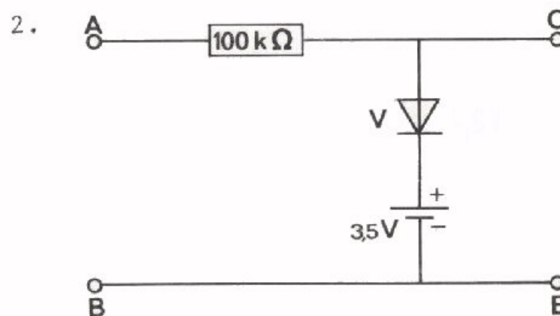


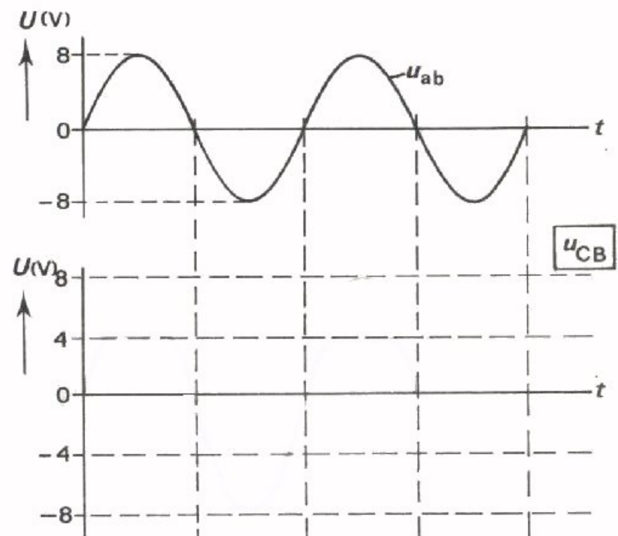
Dit is een [ ] schakeling.

De ingangsspanning u_{ab} verloopt zoals hierboven is weergegeven.

● Teken het verloop van de uitgangsspanning u_{CD}.

2.



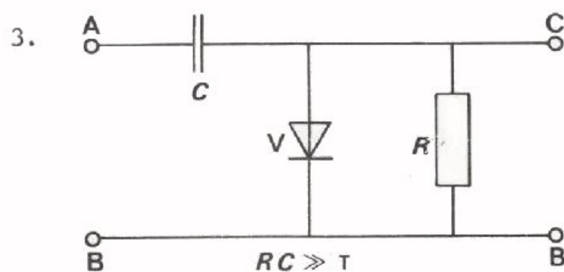


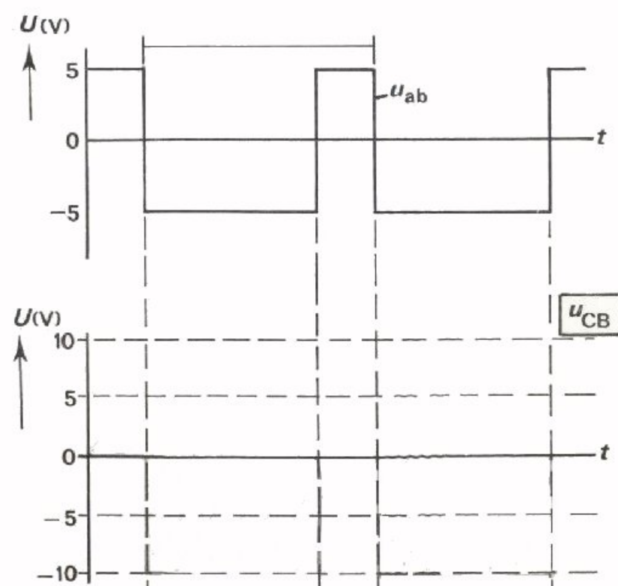
Dit is een [ ] -schakeling.

● Teken de uitgangsspanning u_{CD}.

(De diode begint in doorlaatrichting bij 0,5 V te geleiden).

3.





Dit is een [ ] -schakeling.

De diode is in doorlaatrichting nul ohm vanaf 0 V en in sperrichting volledig gesperd.

● Teken het verloop van de uitgangsspanning u_{CD}, enige tijd na het inschakelen van u_{ab}.

OMVORMERS DIE DE FREQUENTIE VAN EEN SIGNAAL VERANDEREN (zie C22)

- De volgende omvormers zijn behandeld:

  - Frequentievermenigvuldigers.
  - Frequentiedelers.
  - DC-AC- omvormers
  - AM- en FM-detectors.

- *Frequentievermenigvuldigers* zijn schakelingen die een uitgangsspanning leveren waarvan de frequentie een veelvoud is van de frequentie van de ingangsspanning.

  Een frequentievermenigvuldiger bevat een selectief netwerk bijv. een resonantiekring.
  Het ingangssignaal moet *niet*-sinusvormig zijn, bijv. blokvormig.

  Niet-sinusvormige signalen zijn opgebouwd uit een sinusvormige grondgolf en een aantal harmonischen. Een zuivere blokspanning bevat naast de grondgolf uitsluitend *oneven* harmonischen. Een zaagtandspanning bevat *even* én *oneven* harmonischen.

  Frequentievermenigvuldigers gebruikt men o.a. om niet-sinusvormige signalen te ontleden in sinusvormige spanningen.

- Bij *frequentiedelers* is de frequentie van de uitgangsspanning een geheel aantal malen lager dan de frequentie van de ingangsspanning.

  Frequentiedelers zijn vaak samengesteld uit JK-flip-flops die als tweedeler zijn geschakeld. Door terugkoppeling kan men elk gewenst geheel deeltal verkrijgen.

  Met frequentiedelers kan men van een signaal met een nauwkeurig bekende frequentie andere signalen afleiden waarvan de frequentie dan ook nauwkeurig vastligt. Zo kan men bijv. de seconde-impulsen voor een digitale klok afleiden van de netfrequentie, door middels van een 50-deler.

- *DC-AC-omvormers* zetten gelijkspanning om in wisselspanning.

  In dit soort schakelingen wordt de ingangsspanning m.b.v. een mechanische of elektronische schakelaar omgevormd tot een pulserende gelijkspanning. De wisselspanningscomponent wordt doorgegeven naar de uitgang.

  DC-AC omvormers worden bijv. gebruikt in chopperversterkers.

- Een AM-detector is een schakeling die de LF-informatie uit een AM-signaal haalt. Een FM-detector selecteert LF-informatie uit een FM-signaal.

  Een AM-detector bestaat uit een clampschakeling met een bepaalde RC-tijd. Bij de meeste FM-detectors wordt het FM-ingangssignaal omgezet in een AM-signaal. M.b.v. een AM-detector verkrijgt men dan de LF-informatie.

  AM- en FM- detectors gebruikt men in radio- en TV- ontvangers.

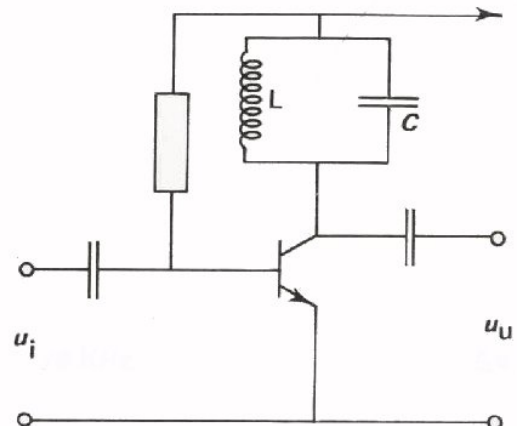
TEST UZELF

1. Een periodieke niet-sinusvormige wisselspanning met een frequentie van 1 kHz is opgebouwd uit sinusvormige spanningen met frequenties van:

- 1 kHz, 900 Hz, 800 Hz, 700 Hz, enz.
- 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, enz.
- 1 kHz, 1,5 kHz, 2 kHz, 2,5 kHz, enz.
- 2 kHz, 4 kHz, 6 kHz, 8 kHz, enz.

2. Dit is een schema van een frequentievermenigvuldiger.

De ingangsspanning u_i is driehoekvormig en heeft een frequentie f = 10 kHz.



- Op welke frequentie moet de *LC*-kring afgestemd zijn opdat de frequentie van de uitgangsspanning 50 kHz bedraagt ?

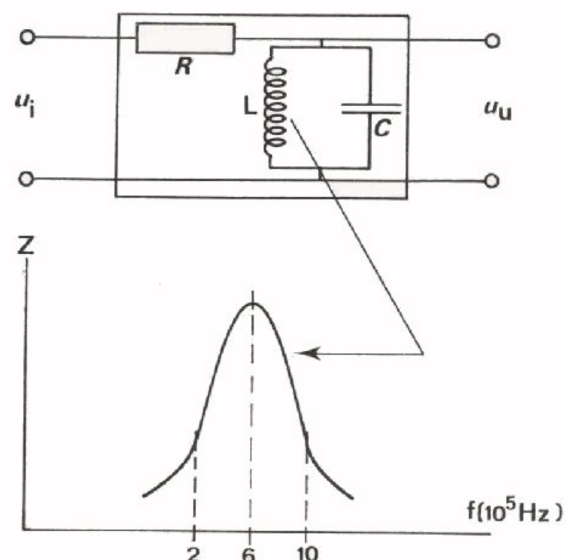
f_o = [kHz]

- Treedt er ook frequentie-vermenigvuldiging op als de driehoekspanning wordt vervangen door een sinusvormige wisselspanning van 10 kHz ? Men mag aannemen dat de versterker zelf niet vastloopt.

[**ja /neen**]

3. De *LC*-kring van nevenstaande schakeling is afgestemd op 600 kHz.

Aan de ingang wordt een HF-signaal toegevoerd waarvan de frequentie varieert tussen 700 kHz en 900 kHz; de amplitude is constant.



- Aan de uitgang ontstaat een wisselspanning u_u waarvan:

O de amplitude varieert

O de frequentie varieert

O de amplitude én de frequentie varieert.

C 25

HERHALING II
DE METINGEN VAN C 15 T/M C 22

INLEIDING

In C23 hebben we de *theorie* van de lessen C15 t/m C22 herhaald. Deze les wordt besteed aan het herhalen van de METINGEN die we tot nog toe hebben uitgevoerd.

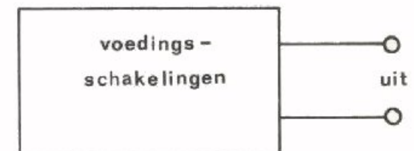
In de lessen C15 t/m C22 zijn drie groepen van schakelingen aan de orde geweest: namelijk oscillators, voedingsschakelingen en omvormers. Als het uitsluitend te doen is om de *functie* van deze schakelingen, dan kan men deze door de volgende blokken voorstellen.

De voor de praktijk belangrijke eigenschappen van deze schakelingen zijn:



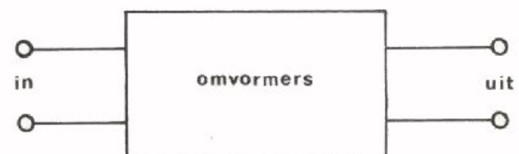
Bij oscillators:

- de top-top-waarde, de frequentie en de vorm van de uitgangsspanning.
- de uitgangsweerstand.
- de mogelijkheid van triggeren of synchroniseren (dit geldt niet voor alle oscillators).



Bij voedingsschakelingen:

- de grootte, de stabiliteit en de zuiverheid van de uitgangsspanning.
- de waarde van de af te nemen stroom.
- de uitgangsweerstand.
- het rendement.



Bij omvormers:

- de top-top-waarde, de frequentie en de vorm van de ingangsspanning.
- de top-top-waarde, de frequentie en de vorm van de uitgangsspanning.

Voor de electronica-monteur is het noodzakelijk dat hij deze eigenschappen door metingen kan vaststellen.

WAT WE IN DEZE LES ACHTEREENVOLGENS GAAN DOEN

We beginnen deze les met nogmaals uit te leggen hoe de belangrijkste metingen aan bovengenoemde schakelingen verlopen. Vervolgens wordt het een en ander verteld over het ijken, het instellen en het aflezen van meetapparaten. Tenslotte krijgt U enige meetopdrachten waarbij het geleerde kan worden toegepast. Als U daarbij moeilijkheden ondervindt, raadpleeg dan de docent. In de volgende les dient U in staat te zijn zónder hulp van docent of collega, een metingentest uit te voeren.

HET METEN VAN DE TOP-TOP-WAARDE, DE FREQUENTIE EN DE VORM VAN DE UITGANGSSPANNING VAN EEN OSCILLATOR

De top-top-waarde, de frequentie en de vorm van een wisselspanning kunnen met één en hetzelfde meetapparaat worden gemeten: nl m.b.v. een oscilloscoop.

A. Het meten van *top-top-waarden.*

De wisselspanning waarvan de top-top-waarde moet worden bepaald, wordt op het scherm van een oscilloscoop afgebeeld. Men meet nu de *verticale* afstand tussen het minimale en het maximale niveau (in aantallen lengte-eenheden of divisions). Dit meetresultaat kan aan de hand van de spanningsijking van de oscilloscoop worden omgerekend in Volt of mV. Bij dit soort metingen is het aan te bevelen, de X-afbuiging van de oscilloscoop uit te schakelen (X-defl. op extern). Er ontstaat dan een verticale streep op het scherm waarvan de lengte evenredig is met de top-top-waarde van de Y-spanning.

B. Het meten van *frequenties.*

Men meet nu de *horizontale* afstand waarbinnen één periode van de te meten spanning wordt afgebeeld. Het aantal lengte-eenheden kan aan de hand van de tijdijking van de oscilloscoop worden omgerekend in seconden (ms of s). De frequentie kan men dan berekenen uit:

$$\text{frequentie} = \frac{1}{\text{periodetijd}}$$

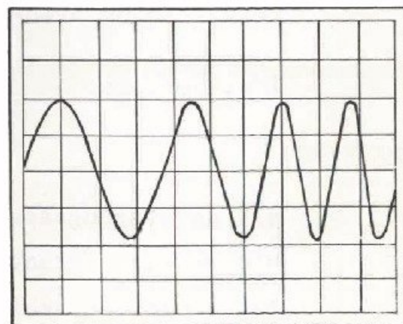
C. Het meten aan de *vorm* van een wisselspanning.

Een spanning met een *willekeurige* vorm wordt door een oscilloscoop nagenoeg *natuurgetrouw* afgebeeld indien aan de volgende voorwaarden wordt voldaan.

1. De bandbreedte van de oscilloscoop moet tenminste 20x zo hoog zijn als de frequentie van de te meten spanning. Als we bijv. een blokspanning met een frequentie van 100 kHz willen afbeelden, dan moet de bandbreedte van de toegepaste oscilloscoop tenminste 2 MHz zijn. In dit geval wordt niet alleen de grondgolf van de blokspanning maar tevens de 2e t/m 20e harmonische versterkt. De blokspanning wordt dan zonder zichtbare vervorming weergegeven.
2. De horizontale afbuigspanning van de oscilloscoop (een zaagtandspanning) moet lineair zijn. Bij gangbare oscilloscopen is de niet-lineairiteit van de afbuigspanning te verwaarlozen klein.

OEFENING

Wat mankeert er aan een oscilloscoop als een sinusvormige Y-spanning wordt afgebeeld zoals hiernaast is getekend ?

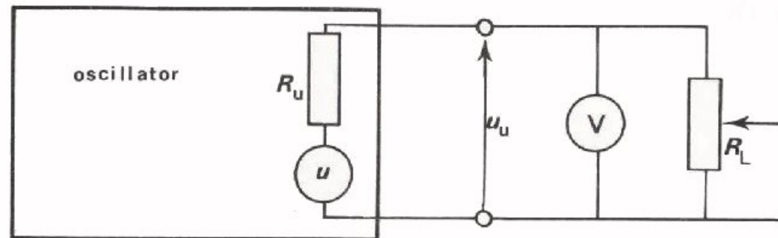


Antwoord:

HET METEN VAN DE UITGANGSWEERSTAND VAN EEN OSCILLATOR

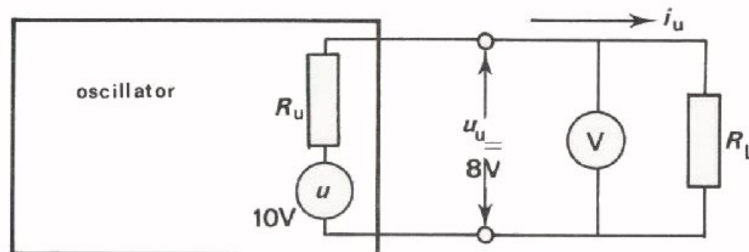
METHODE 1

We meten eerst de uitgangsspanning van de oscillator bij een *onbelaste* uitgang. Het meetresultaat komt overeen met de waarde van u in onderstaand schema. Daarna wordt de potmeter R_L aangesloten. We regelen de waarde hiervan totdat u_u de helft wordt van u. In dat geval is $R_L = R_u$. Door R_L m.b.v. een ohmmeter te meten is de waarde van R_u bekend.



METHODE 2

Praktisch is het niet altijd toelaatbaar om een oscillator te belasten met een R_L die gelijk is aan R_u. Bij vele oscillators ontstaat nl. een *vervormd* uitgangssignaal of houdt het oscilleren op, bij belasting met een lage weerstand. Hoe wordt dán de R_u gemeten ? We laten dit zien aan de hand van een voorbeeld.



We gaan eerst weer de open uitgangsspanning u meten. Stel dat deze 10 V is. Vervolgens belasten we de oscillator met een toelaatbare weerstand R_L en meten de klemspanning u_u. Stel dat R_L = 1 kΩ en de gemeten U_u 8 V bedraagt. De R_u is dan als volgt te berekenen:

Uit U_u = 8 V en R_L = 1 kΩ volgt:

$$I_u = \frac{U_u}{R_b} = \frac{8}{1000} = 8.10^{-3} \text{ A.}$$

Verder is de spanning over R_u: $U_{ru} = U - U_u = 10 - 8 = 2$ V.

Tenslotte is:

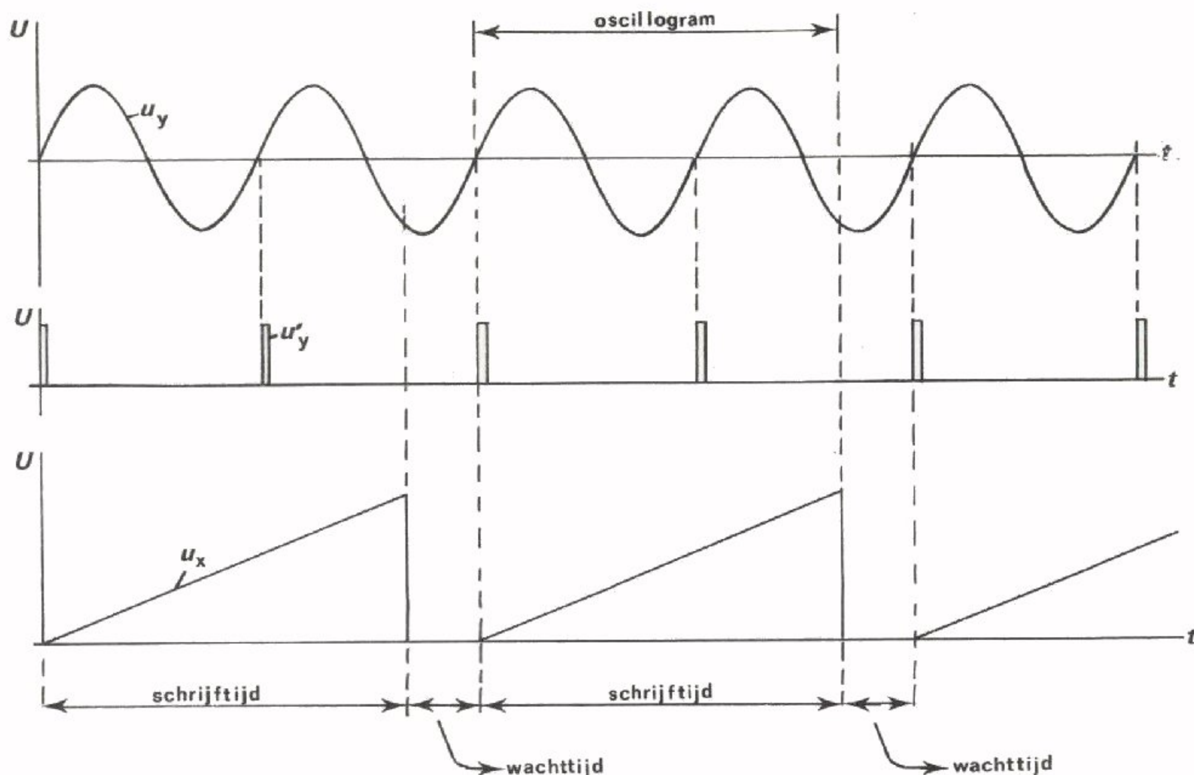
$$R_u = \frac{U_{ru}}{I_u} = \frac{2}{8.10^{-3}} = 250\Omega$$

OPMERKING

Als de uitgangsspanning van de oscillator *niet sinusvormig* is (maar bijv. blokvormig of zaagtandvormig), dan is voor deze metingen een voltmeter ongeschikt. Wisselspanningsmeters zijn immers geijkt in *sinusvormige* spanning. Bij het meten aan niet-sinusvormige spanningen is men aangewezen op een oscilloscoop.

TRIGGEREN IN DE OSCILLOGRAFIE

In moderne oscilloscopen verkrijgt men *stilstaande* afbeeldingen d.m.v. de *trigger*-methode. We zullen aan de hand van de volgende tijddiagrammen nog even herhalen hoe dit tot stand komt.



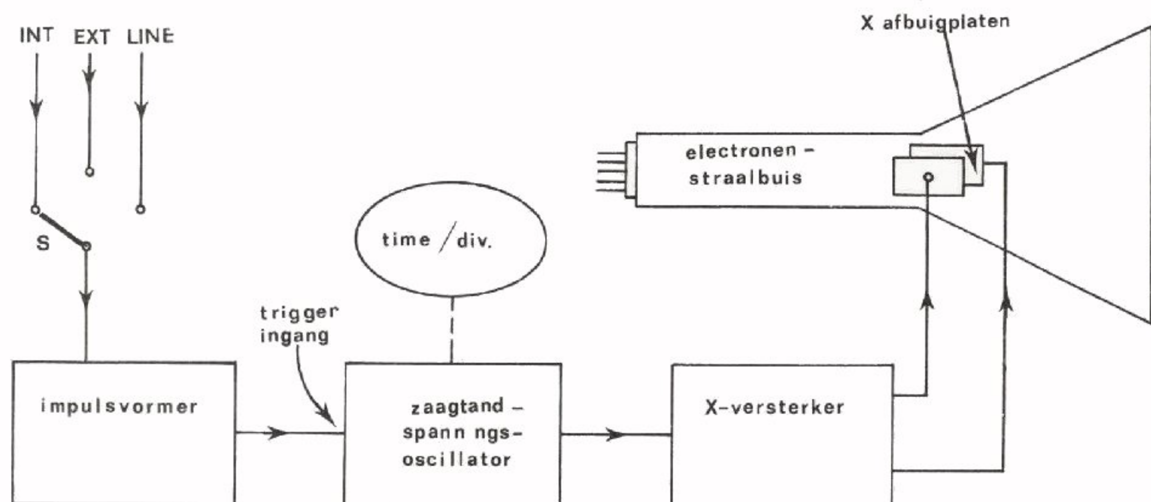
u_y is de af te beelden spanning. Deze is sinusvormig en wordt aan het Y-kanaal van de oscilloscoop gelegd. u'_y zijn impulsen die in de oscilloscoop zelf zijn afgeleid van u_y. (Hoe men van sinusvormige spanningen smalle impulsen maakt, hebben we in C21 behandeld). Met behulp van deze impulsen wordt de zaagtandspanningsoscillator, die voor de X-afbuiging zorgt, getriggerd.

De zaagtandspanningsoscillator wordt *gestart* met de triggerimpulsen. Er wordt dan *één* volledige zaagtandspanning (u_x) opgewekt, waarbij de electronenstraal *éénmaal* van links naar rechts over het scherm schrijft. Hierna stopt de oscillator automatisch en wacht op de eerstvolgende triggerimpuls om opnieuw te starten, enz. Gedurende het opwekken van de zaagtandspanning is de oscillator ongevoelig voor trigger-impulsen. De 2e, 4e en 6e impuls van onze tekening hebben dus geen invloed op de werking van de oscillator.

We zien nu dat de horizontale afbuigspanning u_X is "vergrendeld" met de te meten spanning u_y. De X-afbuiging begint hier iedere keer op de momenten dat u_y met de opgaande flank door "0" gaat. Er ontstaat dus een *stilstaande* afbeelding op het scherm van de oscilloscoop. Het Y-signaal dat gedurende de schrijftijd optreedt vormt het oscillogram.

HET TIJDBASISCIRCUIT VAN EEN OSCILLOSCOOP

Hieronder is een blokschema van het tijdbasiscircuit van een oscilloscoop afgebeeld.



De oscillator levert een zaagtandspanning die via de X-versterker wordt toegevoerd aan de horizontale afbuigplaten. De zaagtandoscillator is uitgerust met een bedieningsorgaan (de knop "time/div."), waarmee de schrijftijd van de zaagtandspanning kan worden geregeld. De oscillator wordt getriggerd met impulsen die via een impulsvormer zijn afgeleid van één van de volgende spanningen.

- Schakelaar S in de stand "INT" (intern).
  In deze stand wordt er intern vanaf het Y-kanaal een spanning aan de impulsvormer toegevoerd. De zaagtandoscillator wordt in dit geval getriggerd met de te meten Y-spanning. Men verkrijgt dan automatisch een stilstaande afbeelding als de amplitude van het Y-signaal voldoende groot is. Deze situatie komt in de meeste gevallen voor.
- S in de stand "EXT" (extern).
  In deze stand wordt er van buiten af (extern) een spanning aan de impulsvormer toegevoerd. De oscillator wordt nu getriggerd met een spanning die via een aparte "bus" ("externe triggering") binnenkomt. Externe triggering wordt bijv. toegepast als het Y-signaal meerdere spanningscomponenten bevat. Bij bijv. een AM-signaal is dit het geval. Als we extern triggeren met de HF-spanning van het AM-signaal, verkrijgen we een stilstaande afbeelding van de draaggolf. Bij externe triggering met de LF-spanning, bereikt men een stilstaande afbeelding van het omhullende van het AM-signaal.

- S in stand "LINE" (uitspraak: lain, betekent: lijn, net).
  In dit geval wordt de zaagtandoscillator getriggerd met impulsen die afgeleid zijn van de netspanning. Van deze mogelijkheid kunnen we nuttig gebruik maken bij het localiseren van netstoringen. Het volgende voorbeeld zal dit verduidelijken. Veronderstel dat bij het afbeelden van een spanning het oscillogram wordt "vertroebeld" door één of ander stoorsignaal. Netstoringen kan men makkelijk herkennen. Ze vormen nl. een stilstaande afbeelding bij triggering met de netfrequentie.

HET METEN VAN DE BELASTINGSKARAKTERISTIEK VAN EEN DC-VOEDING

In de belastingkarakteristiek van een DC-voeding wordt uitgezet: de uitgangsspanning U_U bij uiteenlopende waarde van de uitgangsstroom I_U. In fig. a is de meetschakeling afgebeeld. Met behulp van de ampere meter A wordt de uitgangsstroom gemeten. Deze wordt met de variabele weerstand R_L ingesteld. De voltmeter V geeft de uitgangsspanning aan. De stroom- en spanningswaarden worden uitgezet zoals in fig. b is aangegeven.

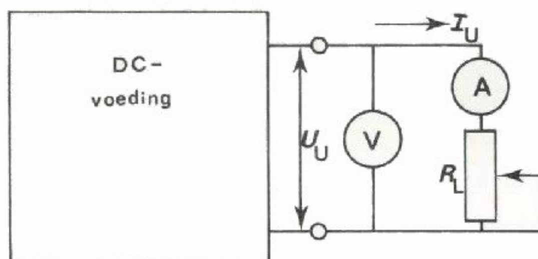


Fig. a

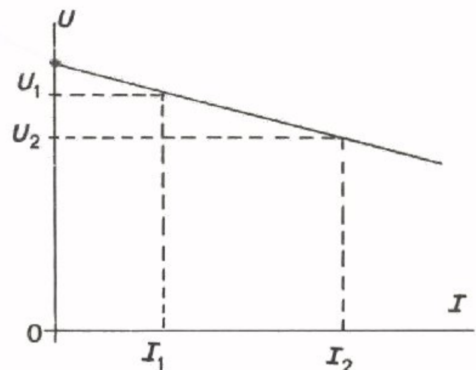


Fig. b

Uit de belastingskaratkeristiek van een voeding kan men dus aflezen hoe groot U_U is bij de diverse waarde van I_u. Uit fig. b kan men bijv. aflezen: bij $I_U = I_{U1} \rightarrow U_u = U_{u1}$

bij $I_U = I_{U2} \rightarrow U_u = U_{u2}$

Uit deze karakteristiek kan men ook de uitgangsweerstand van de voeding afleiden.

$$R_u = \frac{U_{U1} - U_{U2}}{I_{U2} - I_{U1}}$$

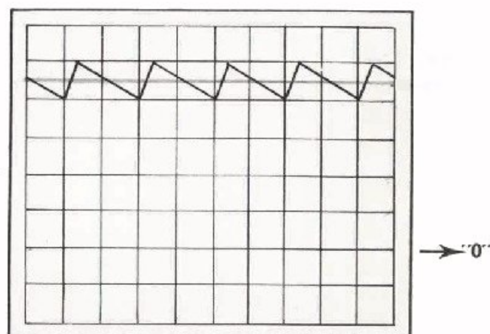
HET METEN VAN DE RIMPELSPANNING

De rimpelspanning van een netspanningsvoeding is niet sinusvormig. Bij het meten hiervan is een wisselspanningsmeter dus ongeschikt. Een oscilloscoop is voor dit doel wel goed te gebruiken.

OEFENING

Een oscilloscoop is aangesloten op de uitgang van een voedingsapparaat.

Het Y-kanaal is in de DC-stand geschakeld.
Het "0"-niveau ligt 2 div. onder het midden.
De Y-versterking is 2 V/div.
De X-afbuiging is 10 ms/div.



Op het scherm ontstaat een oscillogram zoals hiernaast is afgebeeld.

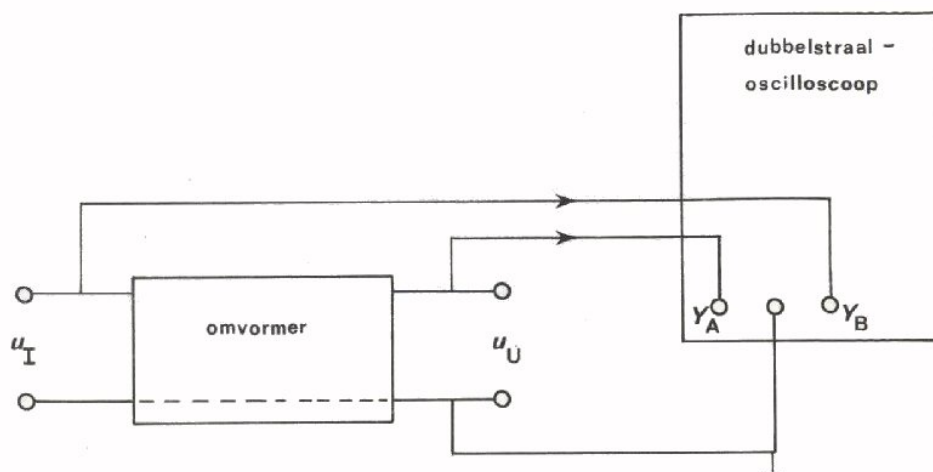
Hoe groot is de gemiddelde spanning, de rimpelspanning en de rimpelfrequentie ?

$U_{U(GEM)}$ = [   ] V $U_{r(tt)}$ = [   ] V f = [   ] Hz

HET METEN AAN OMVORMERS

De spanning aan de ingang resp. aan de uitgang van een omvormer verloopt veelal niet sinusvormig. Bij het meten aan omvormers gebruiken we daarom een *oscilloscoop*.

De uitgangsspanning van een omvormer is anders van gedaante dan de ingangsspanning. Vaak wil men de uitgangsspanning vergelijken met de ingangsspanning. Het is dan aantrekkelijk, beide signalen *tegelijk* af te beelden. Dit kan worden verwezenlijkt m.b.v. een *dubbelstraal*-oscilloscoop.

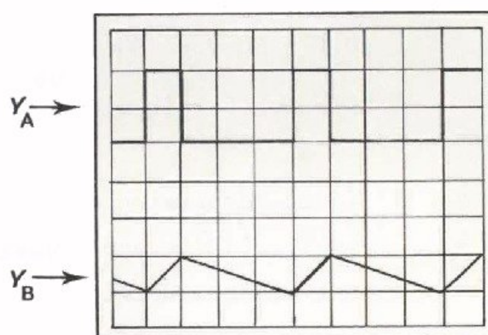


Bij gebruik van een dubbelstraal-oscilloscoop moet men met het volgende rekening houden. De twee ingangen Y_A en Y_B hebben *één* gemeenschappelijke *aardpunt*. Dit punt moet worden verbonden met de gemeenschappelijke ingangs- en uitgangsklem van de omvormer.

OEFENING

De ingangsspanning van een omvormer voert men toe aan de Y_A-ingang van een dubbelstraaloscilloscoop; de uitgangsspanning aan de Y_B-ingang.

Het oscillogram is hiernaast afgebeeld.



De Y_A-versterking is ingesteld op 2 V/div.; de Y_B-versterking op 50 mV/div. De X-afbuiging is 0,1 ms/div.

Hoe groot is de ingangs- en de uitgangsspanning, en hoe hoog is de frequentie frequentie ?

$U_{i(tt)}$ = [V] $U_{u(tt)}$ = [mV] f= [kHz]

Met welk type omvormer hebben we hier te maken ?

HET IJKEN, HET INSTELLEN EN HET AFLEZEN VAN MEETINSTRUMENTEN

A. Het ijken van meetapparaten.

Als meetapparaten enige tijd in gebruik zijn geweest is de kans groot dat hun nauwkeurigheid achteruit is gegaan. Een voltmeter kan bijv. minder gaan aanwijzen ten gevolge van het verloop van hierin gebruikte aktieve en passieve onderdelen. De meeste meetapparaten zijn daarom uitgerust met één of meer ijkmogelijkheden. Hiermee kan op elk gewenst moment het desbetreffende apparaat opnieuw worden afgeregeld. Zo is een oscilloscoop bijna altijd voorzien van een kanteelvormige ijkspanning om de amplitude-frequentie-karakteristiek van de verzwakker-meetkop te controleren en eventueel te corrigeren. De nauwkeurigheid van meetapparaten zoals die door de fabrikant worden opgegeven gelden alleen als het desbetreffende apparaat goed is geijkt.

B. Het instellen en aflezen van meetapparaten.

De nauwkeurigheid van stroom- en spanningsmetingen hangt af van het gekozen meetbereik van de gebruikte meters. Zowel bij analoge - als digitale meetinstrumenten geldt, dat de nauwkeurigheid het grootste is als men voor de desbetreffende meting het *gevoeligste* meetbereik kiest.

Oefening:

Men moet een spanning meten van ca. 2 V.

Het beschikbare meetapparaat heeft meetbereiken van 0,3 V - 1 V - 3 V - 10 V - 30 V - 100 V en 300 V.

Welk meetbereik dient men te nemen ? [ ]

Bij meetapparaten met een cijfer-display is de afleesnauwkeurigheid zeer groot. Bij meetapparaten met een wijzer-display is de afleesnauwkeurigheid veel minder. De wijzer van een meter loopt nl. op enige afstand van de schaal, waardoor de aflezing min of meer afhankelijk is van de hoek waaronder wordt afgelezen. Om deze afleesfouten tot een minimum te beperken maakt men gebruik van meswijzers en voorziet men de schaal van een spiegel. De juiste aflezing verkrijgt men als bij het aflezen het spiegelbeeld van de wijzer geheel achter de wijzer valt.

Bij een oscilloscoop wordt de afleesnauwkeurigheid beïnvloed door de dikte van de oplichtende lijn. Een smalle lijn verkrijgt men bij een *minimale lichtintensiteit* en bij juiste *focussering*.

De dikte van de lijn heeft minder invloed op de nauwkeurigheid van de aflezing naarmate de afbeelding groter is. Kies daarom bij het meten steeds een meetbereik waarbij de afbeelding *zo groot mogelijk* is.

OEFENING

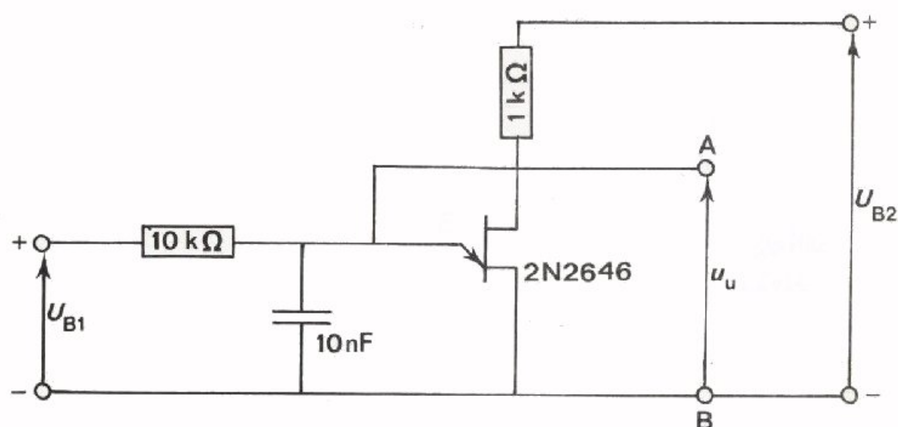
Een draaispoelmeter met een nauwkeurigheid van 2% (van de maximale uitslag) heeft een lineaire schaal.

Hoeveel procent kan deze meter verkeerd aanwijzen:

- bij volle-uitslag ? [%]
- bij kwart-uitslag ? [%]

HERHALINGSOPDRACHT: METINGEN AAN EEN OSCILLATOR

- Monteer de volgende schakeling op Uw paneel.

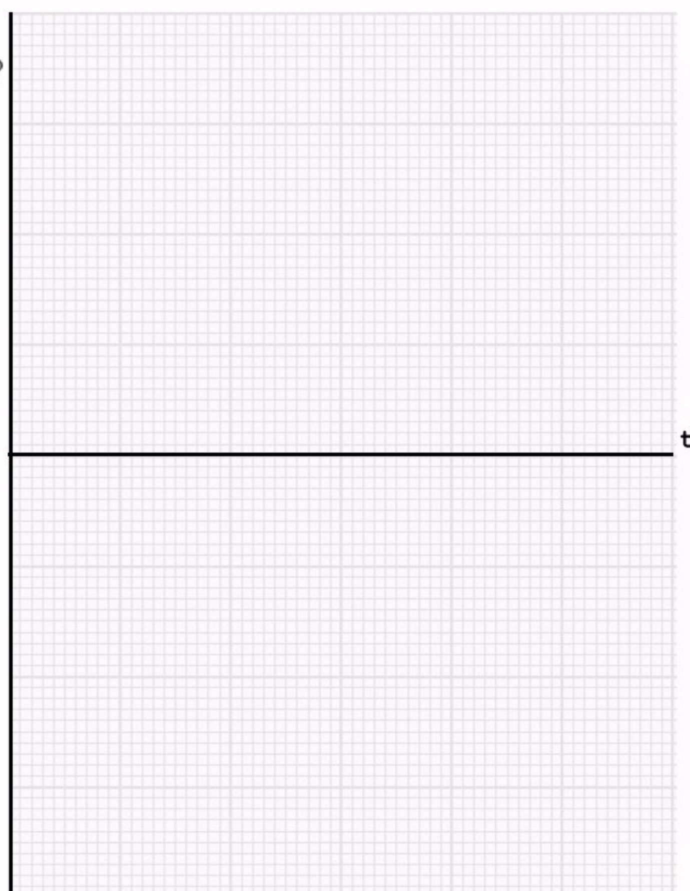


- Sluit de voedingsspanningen U_{B1} en U_{B2} aan (waarden tussen 5 en 20 V).
- Stel U_{B2} zodanig in dat $U_{u(tt)}$ is 6 V.

  U_{B2} is dan [V]
- Maak U_{B1} zo groot dat de frequentie van u_u is 20 kHz.

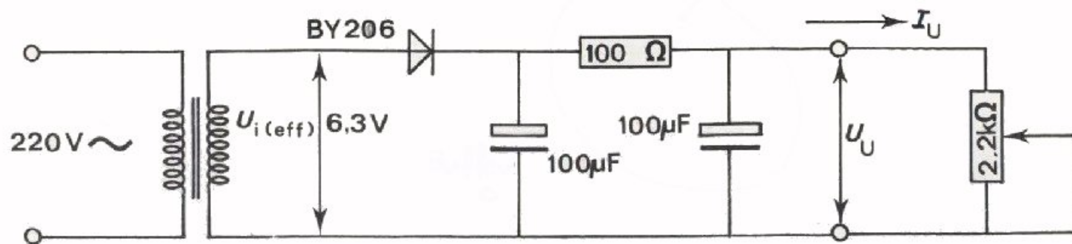
  U_{B1} is dan: [V]
- Schets hiernaast het verloop van de totale uitgangsspanning u_{AB} (gelijkspanning + wisselspanning).
- De gelijkspanningscomponent op de uitgang van de oscillator is:

  [V]



HERHALINGSOPDRACHT: METINGEN AAN EEN VOEDING

- Monteer de volgende schakeling op Uw paneel.



- Sluit een wisselspanning $U_{i(eff)}$ van ca. 6,3 V aan op de ingang van de gelijkrichter (gebruik de voedingstransformator van Uw panelenkast).

- Meet de uitgangsgelijkspanning U_U bij uiteenlopende waarde van de belastingsstroom I_U tussen 0 en 30 mA. Zet de meetresultaten uit in een grafiek op pagina 14.

- Verklaar waarom U_U afneemt bij toenemende I_U.

Bepaal uit de grafiek de uitgangsweerstand van de voeding.

R_u = [Ω]

- Meet de rimpelspanning op de uitgang bij belastingsstromen tussen 0 en 30 mA.

  Zet ook deze meetresultaten uit in een grafiek (zie volgende blad).

- Verklaar waarom u_{rimpel} groter wordt naarmate de stroom toeneemt.

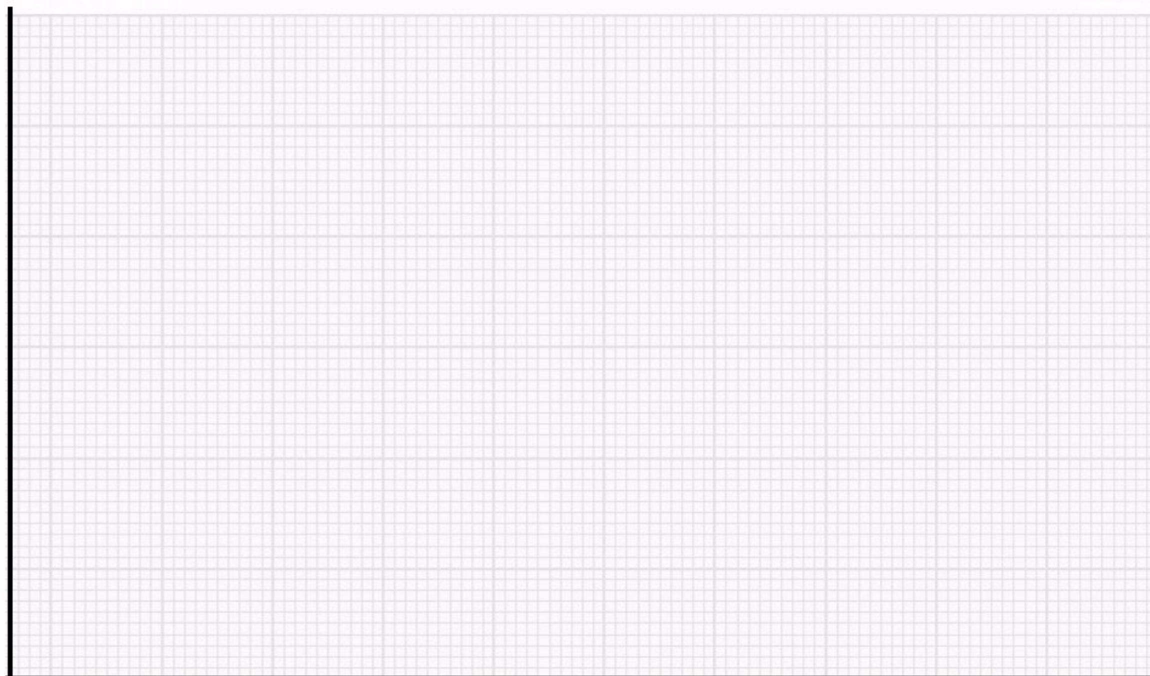
Hoe groot is de afvlakfactor van het afvlakfilter bij I_U = 30 mA?

F = [ ]

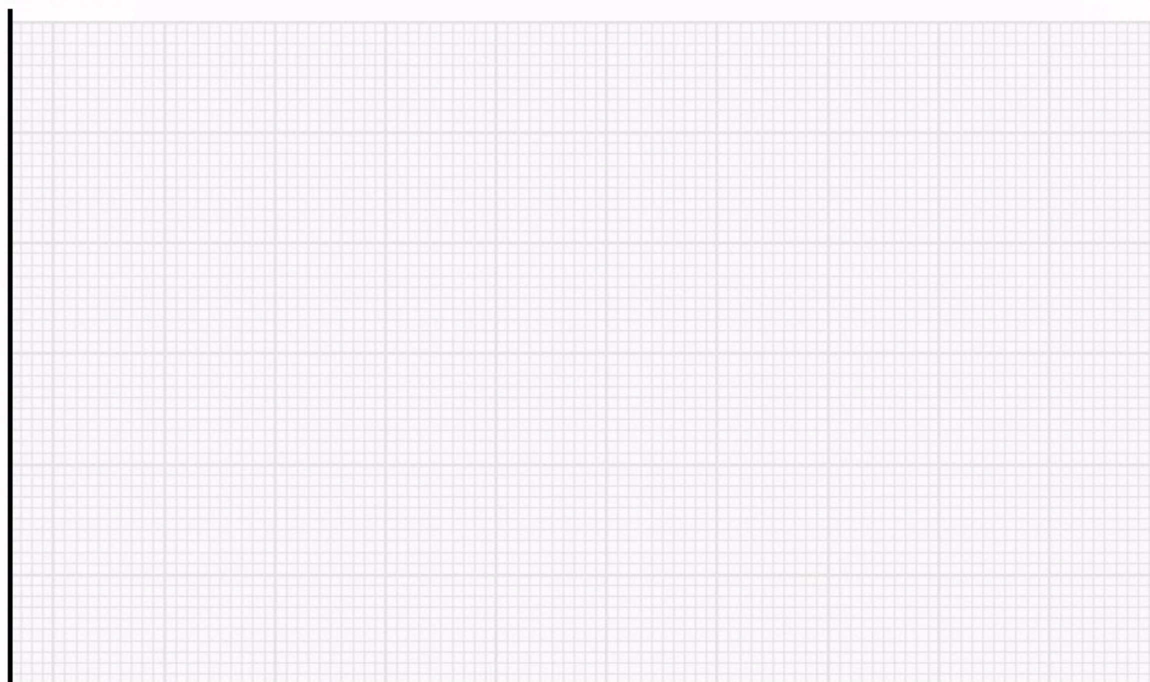
Bepaal de rimpelfrequentie f = [Hz]

DE MEETRESULTATEN VAN DE LAATSTE OPDRACHT

A. DE UITGANGSSPANNING ALS FUNCTIE VAN DE BELASTINGSSTROOM.



B. DE RIMPELSPANNING ALS FUNCTIE VAN DE BELASTINGSSTROOM.



HET GEBRUIK VAN DE TRIGGERMOGELIJKHEDEN VAN EEN OSCILLOSCOOP

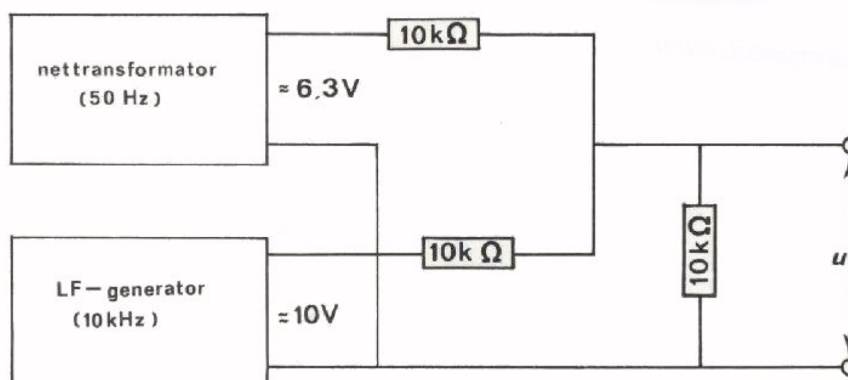
A. Leg een sinusvormige spanning met een frequentie van ca. 10 kHz aan de Y-ingang van een enkelstraaloscilloscoop. Maak de beeldhoogte ca 4 div.

- Gebruik de *interne* triggering om het beeld stil te zetten.
- Maak de beeldhoogte zo klein dat de interne triggering niet meer werkt. Voor *interne* triggering is een beeldhoogte nodig van tenminste

  [ ] divisions.

- Stel de beeldhoogte weer in op ca. 4 division en schakel de oscilloscoop op *externe* triggering. Merk op dat het beeld "loopt".
- Pas *externe* triggering toe, zodanig dat de afbeelding opnieuw stil staat.

B. Monteer de volgende schakeling op Uw paneel.



Gebruik de nettransformator uit Uw panelenkast: $U_{s(eff)} \approx 6{,}3$ V.

Maak de uitgangsspanning van de LF-generator ca. 10 V en regel de frequentie op ca. 10 kHz.

Er ontstaat nu een spanning *u* die samengesteld is uit een 50 Hz-signaal én een 10 kHz signaal.

Voer deze spanning *u* toe aan de ingang van een enkelstraaloscilloscoop.

- Zet de 10 kHz-afbeelding stil d.m.v. *externe* triggering. Maak ca. 2 perioden van het 10 kHz-signaal zichtbaar.
- Zet de 50 Hz-afbeelding stil d.m.v. de *line*-triggering. Maak ca. 2 perioden van het 50 Hz-signaal zichtbaar.

C25.16